

Disseny i Construcció d'un Veler de Radio Control d'Acord amb la Classe IOM (Buc i Apèndixs)

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Marc Casas Béjar

Dirigit per:
Jordi Torralbo Gavilán

Grau en Enginyeria de Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 10 de Juliol de 2019

Departament de Ciències i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agraïments

A *Grau Alcazar Maquetas* i a *Meritxell Rodríguez* per la seva inestimable contribució i recolzament per a la realització del projecte, i a la meva parella *Khrist*, el meu germà *Gerard* i la meva mare *Joana* per el seu suport i paciència incondicionals durant el transcurs d'aquest temps.

Resum

Aquesta memòria recull el procediment de disseny i construcció seguit per a la obtenció del buc i apèndixs que, en conjunt amb un aparell vèlic en concordança; composarien una embarcació de dimensions i característiques d'acord a la normativa *International One Meter (IOM)*. *World Sailing*, màxim organisme de govern de l'esport de la vela a nivell mundial i reconegut per el Comitè Olímpic Internacional; reconeix i regula un total de quatre classes de vela a radio control, entre les quals es troba la classe *IOM*, i per a la que existeix una normativa que restringeix diversos aspectes del disseny i/o la construcció dels múltiples components de les embarcacions que pretenguin prendre part en una competició oficial de la classe organitzats arreu del món, prèvia obtenció d'un certificat de compliment. La existència d'aquesta regulació requereix la adaptació del disseny per tal de complir totes aquelles restriccions simultàniament amb la recerca del disseny més optimitzat possible per a la obtenció de resultats satisfactoris; i el concepte s'haurà de traslladar a la realitat de la manera més acurada possible, evitant possibles alteracions en la forma de la embarcació per la realització dels controls pertinents per a assegurar que, efectivament, el procés s'ha realitzat adequadament.

Abstract

This document comprehends the designing and manufacturing procedure followed for to obtain a hull and its appendages that, and together with a sails combo in accordance, will compose a vessel whose dimensions and characteristics will follow the International One Meter (IOM) class rules. World Sailing, the highest world governing body for the sport of sailing and recognized by the International Olympic Committee, recognizes and regulates a total of four radio sailing categories, to which the *IOM* class belongs to, and for which exists a class regulation that restricts several aspects of the designing and/or the manufacturing of the multiple parts of the vessels meant to take part in an official competition of this class organized all around the world, after obtaining a certificate of accomplishment. The existence of this regulation requires to adapt the design in order to fit all the restrictions together with the source of the most optimized design to achieve satisfactory results and the concept should be moved to reality in the most accurate way, avoiding alterations on the shape of the ship by running the necessary controls to ensure that, indeed, the procedure is being realized correctly.

Taula de continguts

Disseny i Construcció d'un Veler de Radio Control d'Acord amb la Classe IOM (Buc i Apèndixs)

AGRAÏMENTS.....	III
RESUM	V
ABSTRACT	VI
TAULA DE CONTINGUTS.....	VII
LLISTAT DE FIGURES	XI
LLISTAT DE TAULES.....	XV

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ 1

1.1 HISTÒRIA DEL MODELISME NAVAL	1
1.2 INSTITUCIONS RELACIONADES AMB LA CLASSE IOM	7
1.2.1 INSTITUCIONS INTERNACIONALS	7
1.2.2 INSTITUCIONS NACIONALS	8
1.3 CLASSES D'EMBARCACIONS A VELA RADIO CONTROL.....	9

CAPÍTOL 2. CONCEPTES TEÒRICS14

2.1 NORMATIVA DE LA CLASSE IOM	14
2.1.1. SECCIÓ A: GENERAL	14
2.1.2. SECCIÓ B: ADMISSIBILITAT D'UNA EMBARCACIÓ	14
2.1.3. SECCIÓ C: CONDICIONS DE REGATA.....	15
2.1.4. SECCIÓ D: BUC.....	16
2.1.5. SECCIÓ E: APÈNDIXS DEL BUC	17
2.1.6. SECCIÓ F: APARELL I SECCIÓ G: VELES.....	17
2.1.2. SECCIÓ H: IL·LUSTRACIONS	17
2.2 DISSENY, CONCEPTE I METODOLOGIA	19
2.3 RESISTÈNCIA A L'AVANÇ	20
2.4 TEORIA DEL VAIXELL.....	23

CAPÍTOL 3. PROCÉS DE DISSENY27

3.1 DEFINICIÓ DE L'OBJECTIU DE LA EMBARCACIÓ	28
3.2. DISSENY DEL BUC	29
3.2.1. NORMATIVA APLICABLE.....	29
3.2.2. DISSENY DE LES FORMES DEL FOLRE.....	29
3.2.2.1. METODOLOGIA DE DISSENY PER AL FOLRE DEL BUC	29

3.2.2.2. PROCÉS DE DISSENY DE LES FORMES DEL FOLRE	33
3.2.3 DISSENY DE LA COBERTA.....	63
3.2.3.1 METODOLOGIA DE DISSENY PER A LA COBERTA	63
3.2.3.2 PROCÉS DE DISSENY DE LES COBERTES I RESULTATS.....	64
3.2.4. DISSENY DE LES MAMPARES	69
3.2.4.1 METODOLOGIA DE DISSENY PER A LES MAMPARES.....	69
3.2.4.1 PROCÉS DE DISSENY DE LES MAMPARES I RESULTATS	70
3.3. MATERIALS DE CONSTRUCCIÓ, ESTIMACIÓ DE MASSES I POSICIONAMENT D'ELEMENTS	75
3.3.1. ELECCIÓ DE MATERIALS PER A LA CONSTRUCCIÓ	75
3.3.1.1 MATERIALS PER LA CONSTRUCCIÓ DEL BUC	75
3.3.1.2 MATERIALS PER LA CONSTRUCCIÓ DELS APÈNDIXS	77
3.3.2 ESTIMACIÓ DE MASSES.....	78
3.3.2.1 ESTIMACIÓ DE LA MASSA DELS COMPONENTS JA DISSENYATS I DETERMINACIÓ D'ESPESSORS	78
3.3.2.2 ESTIMACIÓ DE LA MASSA DELS APÈNDIXS.....	80
3.3.2.3 ESTIMACIÓ DE LA MASSA DE COMPONENTS ELECTRÒNICS, VELES I EIXÀRCIA.....	81
3.3.3 POSICIONAT D'ELEMENTS	82
3.4. DISSENY D'APÈNDIXS	85
3.4.1 NORMATIVA APLICABLE.....	85
3.4.2 DISSENY DE LA QUILLA	85
3.4.2.1 METODOLOGIA DE DISSENY DE LA QUILLA.....	85
3.4.2.2 PROCÉS DE DISSENY DE LA QUILLA I RESULTATS	87
3.4.3 DISSENY DEL TIMÓ	98
3.4.3.1 METODOLOGIA DE DISSENY DEL TIMÓ	98
3.4.3.2 PROCÉS DE DISSENY DEL TIMÓ I RESULTATS	99
3.4.4 DISSENY DELS ELEMENTS DE FIXACIÓ I/O ACCIONAMENT	102
3.4.3.1 METODOLOGIA DE DISSENY.....	102
3.4.3.2 PROCÉS DE DISSENY DEL CONJUNT DE SUBJECCIÓ DE LA QUILLA I RESULTATS	103
3.4.3.3 PROCÉS DE DISSENY DEL SISTEMA DE SUBJECCIÓ I OPERACIÓ DEL TIMÓ	106
3.5 ESTUDI TÈCNIC DEL DISSENY FINAL	110
3.5.1 ESTUDI FINAL DE LA RESISTÈNCIA	110
3.5.2 ESTUDI FINAL DEL REPARTIMENT DE MASSES	110
3.5.2.1 Càlcul de la massa final dels apèndixs	111
3.5.2.2 Càlcul de la posició del centre de gravetat definitiva.....	112
3.5.3 ESTUDI DE LA ESTABILITAT FINAL DE LA EMBARCACIÓ	112
CAPÍTOL 4. PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ	116
4.1 PLANIFICACIÓ.....	117
4.1.1 ORGANITZACIÓ DELS TREBALLS, DIAGRAMA DE <i>GANTT</i>	117
4.1.1.1 TASQUES PER A LA CONSTRUCCIÓ DEL BUC.....	117
4.1.1.2 TASQUES PER A LA CONSTRUCCIÓ DELS APÈNDIXS	118
4.1.1.3 TASQUES DE MUNTATGE FINAL	118
4.1.1.4 DIAGRAMA DE <i>GANTT</i>	118

4.1.2 PRESSUPOST	119
4.2 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DEL BUC	120
4.2.1 CONSTRUCCIÓ DE MOTLLES A PARTIR D'UN MODEL INFORMÀTIC EN TRES DIMENSIONS	120
4.2.2 LAMINACIÓ DE RESINA DE POLIÈSTER REFORÇADA AMB FIBRA DE VIDRE	125
4.2.4 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DEL FOLRE	127
4.2.4.1 MATERIAL, EINES I UBICACIÓ	127
4.2.4.2 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE MASCLE	129
4.2.4.3 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE FEMELLA.....	130
4.2.4.4 LAMINAT I TALLAT FINAL DEL FOLRE.....	131
4.2.5 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DE LA COBERTA DE PROA	134
4.2.5.1 MATERIALS, EINES I UBICACIÓ.....	134
4.2.5.2 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE FEMELLA.....	135
4.2.5.3 LAMINAT I TALLAT FINAL DE LA COBERTA DE PROA	136
4.2.6 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DE LA COBERTA DE PROA	137
4.2.6.1 MATERIALS, EINES I UBICACIÓ.....	137
4.2.6.2 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE MASCLE	138
4.2.6.3 LAMINAT I TALLAT FINAL DE LA COBERTA DE POPA	138
4.2.6.4 CONTROL DE QUALITAT FINAL	139
4.2.7 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DE LES MAMPARES.....	139
4.2.7.1 MATERIALS, EINES I UBICACIÓ.....	139
4.2.7.2 LAMINAT I TALLAT FINAL DE LES MAMPARES.....	140
4.2.7.3 CONTROL DE QUALITAT FINAL	141
4.3 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ DELS APÈNDIXS	142
4.3.1 CONSTRUCCIÓ DEL BULB.....	142
4.3.1.1 MATERIALS, EINES I UBICACIÓ.....	142
4.3.1.2 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE PER AL BULB	142
4.3.1.3 PROCÉS DE CONFORMAT PER FOSSA DEL BULB	143
4.3.1.4 CONTROL DE QUALITAT DEL BULB	144
4.3.2 IMPRESSIÓ EN TRES DIMENSIONS.....	144
4.3.2.1 DESCRIPCIÓ DE L'EQUIP I EL FILAMENT PER A LA IMPRESSIÓ EN 3D	145
4.3.2.2 PROCEDIMENT D'IMPRESSIÓ EN TRES DIMENSIONS	145
4.3.2.3 CONTROL DE QUALITAT	147
4.4 MUNTATGE FINAL	149
4.4.1 MUNTATGE DEL BUC	149
4.4.1.1 MATERIALS PER AL MUNTATGE FINAL DEL BUC.....	149
4.4.1.2 PROCEDIMENT PER AL MUNTATGE DELS COMPONENTS DEL BUC	149
4.4.2 MUNTATGE DELS APÈNDIXS.....	151
<u>CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS.....</u>	<u>152</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>158</u>

ANNEX 1. ESTUDIS HIDROESTÀTICS, D'ARROSSEGAMENT, ESTABILITAT I ESTRUCTURALS.	162
A1.1 DADES HIDROSTÀTIQUES, D'ARROSSEGAMENT I ESTABILITAT DE <i>MS-IOM I</i>	163
A1.2 DADES HIDROSTÀTIQUES, D'ARROSSEGAMENT I ESTABILITAT DE <i>MS-IOM II</i>	167
A1.3 DADES HIDROSTÀTIQUES, D'ARROSSEGAMENT I ESTABILITAT DE <i>MS-IOM III</i>	171
A1.4 DADES HIDROSTÀTIQUES, D'ARROSSEGAMENT I ESTABILITAT DE <i>MS-IOM IV</i>	175
A1.5 DADES HIDROSTÀTIQUES, D'ARROSSEGAMENT I ESTABILITAT DE <i>MS-IOM V</i>	179
A1.6 ESTUDI TÈCNIC DEL DISSENY FINAL	183
A1.6.1 DADES DE L'ESTUDI D'ARROSSEGAMENT	183
A1.6.2. CÀLCUL DE LA POSICIÓ DEL CENTRE DE GRAVETAT	186
A1.6.3 CÀLCUL DE LA POSICIÓ DEL LLAST I CENTRE DE GRAVETAT DEFINITIU	188
A1.6.4 RESULTATS DE L'ESTUDI DE LA POSICIÓ D'EQUILIBRI	190
A1.6.5 RESULTATS DE L'ESTUDI D'ESTABILITAT	191
A1.7 DADES DE L'ESTUDI ESTRUCTURAL DE <i>KEEL I</i>	194
A1.8 DADES DE L'ESTUDI ESTRUCTURAL DE <i>KEEL II</i>	196
 ANNEX 2. PLÀNOLS	 198
 ANNEX 3. DOCUMENTS ORGANITZATIUS	 210

Llistat de Figures

Figura 1: Pintura de la goleta Amèrica - <i>Nàutica Digital</i>	1
Figura 2: A la esquerra, el <i>Polka Dot</i> de E.A. Bull; a la dreta l' <i>Endeavour</i> de Daniels. - <i>US Vintage Model</i>	2
Figura 3: <i>Bill Bithell</i> a l'any 1948 - <i>US Vintage Model</i>	4
Figura 4: Competició de la classe <i>Ten Rater</i> - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	5
Figura 5: Cartell del campionat del mon de la classe IOM l'any 2015 - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	6
Figura 6: Esquema de les fites històriques de més rellevància del modelisme naval	6
Figura 7: D'esquerra a dreta, logotips de <i>World Sailing</i> , <i>IRSA</i> i <i>IOMICA</i> - <i>World Sailing</i> , <i>IRSA World Radio Sailing</i> i <i>IOM International Class Association</i>	8
Figura 8: Logotip IOMCAT – <i>Associació IOMCAT de Vela rc</i>	9
Figura 9: Competició de la classe RC A - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	10
Figura 10: Competició de <i>Marbleheads</i> - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	11
Figura 11: Competició de <i>Ten Raters</i> - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	12
Figura 12: Imatge de la portada de la normativa IOM - <i>IRSA World Radio Sailing</i>	13
Figura 13: Insígnia de la classe <i>IOM</i> i dimensions - <i>International One Meter Class Rules 2017</i>	17
Figura 14: Croquis aclaridor de les concavitats permeses - <i>International One Meter Class Rules 2017</i>	18
Figura 15: Esquema de disseny en espiral	19
Figura 16: Forces aplicades en una embarcació sense escora - <i>Diseño de veleros para el mal tiempo</i>	25
Figura 17: Forces sobre una embarcació amb escora i GZ - <i>Diseño de veleros para el mal tiempo</i>	25
Figura 18: Diagrama de processos i sots-processos del disseny de la embarcació	27
Figura 19: Esquema del criteri d'acceptació de les propostes de disseny	32
Figura 20: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta <i>MS-IOM I</i>	34
Figura 21: Proposta <i>MS-IOM I</i> renderitzada	35
Figura 22: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta <i>MS-IOM II</i> (en blau) comparada amb el disseny base <i>MS-IOM I</i> (en negre)	36
Figura 23: A la esquerra: renderitzat de la proposta <i>MS-IOM II</i> , a la dreta renderitzat del disseny base	37
Figura 24: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta <i>MS-IOM I</i> , en blau; amb la alternativa <i>MS-IOM II</i> , en vermell	39
Figura 25: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta <i>MS-IOM III</i> (en blau) comparada amb el disseny base <i>MS-IOM I</i> (en negre)	40
Figura 26: A la esquerra: renderitzat de la proposta <i>MS-IOM III</i> , a la dreta renderitzat del disseny base	41
Figura 27: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta <i>MS-IOM I</i> , en blau; amb la alternativa <i>MS-IOM III</i> , en vermell	43
Figura 28: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta <i>MS-IOM IV</i> (en blau) comparada amb el disseny base <i>MS-IOM III</i> (en negre)	45
Figura 29: Vista en detall de la secció longitudinal a popa. En negre <i>MS-IOM III</i> , i <i>MS-IOM IV</i> en blau	45
Figura 30: Vista en detall de la secció vertical a proa. En negre <i>MS-IOM III</i> , i <i>MS-IOM IV</i> en blau	46
Figura 31: Vista en detall de la secció vertical a popa. A dalt línies de bordes i a baix línies de flotació dels dissenys <i>MS-IOM III</i> (negre) i <i>MS-IOM IV</i> (blau)	46
Figura 32: A la esquerra: renderitzat de la proposta <i>MS-IOM IV</i> , a la dreta renderitzat del disseny base	47
Figura 33: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta <i>MS-IOM III</i> , en blau; amb la alternativa <i>MS-IOM IV</i> , en vermell	49
Figura 34: Gràfica comparativa entre braços d'adreçament de <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i>	53

Figura 35: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta <i>MS-IOM V</i> (en blau) comparada amb el disseny base <i>MS-IOM IV</i> (en negre)	54
Figura 36: Vista en detall de la secció longitudinal a proa. <i>MS-IOM IV</i> en negre i <i>MS-IOM V</i> en blau	54
Figura 37: Vista en detall de la secció vertical a popa de la quaderna mestra, <i>MS-IOM IV</i> en negre i <i>MS-IOM V</i> en blau	55
Figura 38: A la esquerra: renderitzat de la proposta <i>MS-IOM V</i> , a la dreta renderitzat del disseny base	55
Figura 39: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta <i>MS-IOM IV</i> , en blau; amb la alternativa <i>MS-IOM V</i> , en vermell	58
Figura 40: Gràfica comparativa entre braços d'adreçament de <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i>	60
Figura 41: Gràfica comparativa entre els <i>LCB</i> de <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i>	62
Figura 42: Esquema resum del procés d'acceptació/descart de les formes del folre	63
Figura 43: Formes i dimensions del primer disseny de la coberta de proa	65
Figura 44: Imatge renderitzada del primer disseny de la coberta de proa	65
Figura 45: Formes i dimensions del disseny definitiu de la coberta de proa	66
Figura 46: Imatge renderitzada del disseny definitiu de la coberta de popa	66
Figura 47: Formes i dimensions de la coberta de popa	67
Figura 48: Imatge renderitzada de la coberta de popa	68
Figura 49: Forma i dimensions de la coberta de maquinari	69
Figura 50: Distància de posicionament de les mampares transversals des de proa	70
Figura 51: Formes i dimensions de la mampara 1	71
Figura 52: Forma i dimensions de la mampara 2	72
Figura 53: Forma i dimensions de la mampara 3	73
Figura 54: Forma i dimensions de la mampara 4	73
Figura 55: Buc amb les mampares i coberta d'electrònica ubicades	74
Figura 56: Buc amb les cobertes de proa i popa instal·lades	74
Figura 57: Esquema resum del criteri d'acceptació del disseny de l'orsa	87
Figura 58: Perfil <i>NACA0015 - Air Foil Tools</i>	88
Figura 59: Obtenció del bulb amb <i>Rhinoceros 3D</i>	89
Figura 60: Obtenció de la primera proposta de quilla amb <i>Rhinoceros 3D</i>	92
Figura 61: configuració dels paràmetres de gravetat a <i>Tdyn</i>	93
Figura 62: Configuració de les restriccions de moviment i rotació	94
Figura 63: Definició del <i>CARBON-P</i> com a material i assignació d'aquest a l'orsa	94
Figura 64: Definició del plom com a material i assignació d'aquest al bulb	95
Figura 65: Definició de la tipologia de càrregues i assignació a la quilla	95
Figura 66: Model amb el mallat generat	96
Figura 67: Comparació entre les seccions verticals superiors i inferiors de <i>Keel I</i> (en negre) i <i>Keel II</i> (en blau)	97
Figura 68: Comparació entre les vistes de perfil de <i>Keel I</i> (en negre) i <i>Keel II</i> (en blau)	97
Figura 69: Màxim, mínim i valor obtingut en <i>Keel II</i> per a les característiques subjectes a restricció	98
Figura 70: Delineat del timó amb <i>Rhinoceros 3D</i>	101
Figura 71: Primer disseny del timó	101
Figura 72: a la esquerra, primer disseny del timó; a la dreta disseny nou	102
Figura 73: prolongació de l'orsa i incisions d'aquesta	104
Figura 74: Caixa d'orsa amb la quilla introduïda dins del canal corresponent	104
Figura 75: Passant inserit a la part superior de la quilla	105
Figura 76: Tancament inserit a la seva posició, conjunt de fixació de la orsa complet	105
Figura 77: Detall de la part superior de la metxa	107
Figura 78: Llimera amb la metxa introduïda a través d'aquesta	107

Figura 79: Canya instal·lada sobre la metxa	108
Figura 80: Topall instal·lat a la part superior de la metxa	108
Figura 81: Model en tres dimensions del disseny del buc i els apèndixs de la embarcació completats	115
Figura 82: Esquema resum de la fase de construcció	116
Figura 83: Distribució de les plantilles per a la construcció del motlle mascle de la coberta de popa	120
Figura 84: Posicionament de les seccions transversals sobre la base del motlle de la coberta de popa	121
Figura 85: Seccions transversals encolades a la base del motlle femella de la coberta de proa	121
Figura 86: Blocs de poliuretà ubicats entre les seccions de <i>DM</i> del motlle femella de la coberta de proa	122
Figura 87: Remoció de la espuma de poliuretà amb una fulla de serra	122
Figura 88: Remoció de la espuma de poliuretà sobrant i ajust de la forma del motlle del folre	123
Figura 89: Capa de fibra de vidre aplicada per segellar el motlle de la coberta de popa	124
Figura 90: A la esquerra, secció de proa del motlle del folre amb el màstic aplicat però no fregat. A la dreta la mateixa secció des de l'angle oposat ja fregada	124
Figura 91: Motlle del folre acabat	125
Figura 92: Detall del motlle mascle del folre amb la última capa de cera aplicada	125
Figura 93: Motlle mascle de la coberta de popa amb el <i>Gelcoat</i> aplicat (dues capes)	126
Figura 94: Laminat de la coberta de proa sobre el seu corresponent motlle femella	126
Figura 95: Alguns dels materials necessaris per al procés de construcció del folre	128
Figura 96: Motlle mascle del folre acabat	130
Figura 97: A la esquerra, motlle femella; a la dreta motlle mascle	131
Figura 98: Folre obtingut després de retirar el motlle femella	132
Figura 99: Folre finalitzat	132
Figura 100: Experiment per a trobar el desplaçament aproximat del folre	133
Figura 101: Projecció de la línia de flotació a desplaçament = 4000,00 grams	133
Figura 102: Motlle de la coberta de proa llest per al procés de laminació	136
Figura 103: Coberta de proa presentada sobre el folre	137
Figura 104: Cobertes de proa i coberta de popa afinades abans de tallar la forma final	139
Figura 105: A la esquerra: mampara 3 amb <i>Gelcoat</i> aplicat; a la dreta: mampares 2 i 1 en procés d'afinat	140
Figura 106: Motlle femella del bulb ja construït	143
Figura 107: Bulb en plom i orsa impresa en <i>3D</i> acabats de fabricar	144
Figura 108: Carret de filament de <i>CARBON-P - RS Components Online</i>	145
Figura 109: Procés d'exportació a <i>.stl</i> de la pala del timó fent ús de <i>Rhinoceros 3D</i>	146
Figura 110: Tancament importat al <i>software</i> de control de la impressora <i>3D</i> i paràmetres introduïts	146
Figura 111: Impressora <i>3D</i> imprimint una secció de la orsa	147
Figura 112: Mampares 1 i 2 adherides al folre	150
Figura 113: Caixa d'orsa i llimera adherides al folre	150
Figura 114: Buc amb tots els components ubicats al seu lloc	151
Figura 116: Corbes de resistència de la proposta <i>MS-IOM I</i>	165
Figura 117: Corba de <i>GZ</i> en funció de la escora de la proposta <i>MS-IOM I</i>	166
Figura 118: Corbes de resistència de la proposta <i>MS-IOM II</i>	169
Figura 119: Corba de <i>GZ</i> en funció de la escora de la proposta <i>MS-IOM II</i>	170
Figura 120: Corbes de resistència de la proposta <i>MS-IOM III</i>	173
Figura 121: Corba de <i>GZ</i> en funció de la escora de la proposta <i>MS-IOM III</i>	174
Figura 122: Corbes de resistència de la proposta <i>MS-IOM IV</i>	177
Figura 123: Corba de <i>GZ</i> en funció de la escora de la proposta <i>MS-IOM IV</i>	178
Figura 124: Corbes de resistència de la proposta <i>MS-IOM V</i>	181
Figura 125: Corba de <i>GZ</i> en funció de la escora de la proposta <i>MS-IOM V</i>	182

Figura 126: Corbes de resistència del disseny definitiu	185
Figura 127: Gràfica comparativa entre els arrossegaments del model <i>MS-IOM V</i> (sense apèndixs) amb el model definitiu	185
Figura 128: Corba de GZ en funció de la escora de la embarcació per a les dues opcions de llast (en blau, opció 2; en vermell, opció 4)	193
Figura 129: Corba de l'angle d'assentament en funció de la escora de la embarcació per a les dues opcions de llast (en blau, opció 2; en vermell, opció 4)	193
Figura 130: Diagrama de desplaçaments en l'eix y de <i>Keel I</i>	194
Figura 131: Diagrama d'esforços de <i>Von Mises</i> i valors de <i>Keel I</i>	195
Figura 132: Diagrama de desplaçaments en l'eix y de <i>Keel II</i>	196
Figura 133: Diagrama d'esforços de <i>Von Mises</i> i valors de <i>Keel II</i>	197

Llistat de Taules

Taula 1: Taula comparativa de les característiques de les diferents classes de vela a radio control – <i>IRSA World Radio Sailing</i>	13
Taula 2: Restriccions de la normativa en les dimensions de la embarcació – <i>International One Meter Class Rules 2017</i>	15
Taula 3: Masses màximes i mínimes de la quilla i el timó - <i>International One Meter Class Rules 2017</i>	16
Taula 4: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta <i>MS-IOM I</i> per a cada característica restringida	35
Taula 5: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta <i>MS-IOM I</i> per a cada característica restringida	37
Taula 6: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM II</i> per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos	38
Taula 7: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM II</i> per a velocitats entre 5 i 10 nusos	38
Taula 8: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM II</i> per a velocitats entre 10 i 15 nusos	39
Taula 9: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta <i>MS-IOM III</i> per a cada característica restringida	41
Taula 10: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM III</i> per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos	42
Taula 11: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM III</i> per a velocitats entre 5 i 10 nusos	42
Taula 12: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM I</i> i <i>MS-IOM III</i> per a velocitats entre 10 i 15 nusos	43
Taula 13: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta <i>MS-IOM IV</i> per a cada característica restringida	47
Taula 14: Taula comparativa entre les resistències de les propostes <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i> per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos	48
Taula 15: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i> per a velocitats entre 5 i 10 nusos	48
Taula 16: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i> per a velocitats entre 10 i 15 nusos.	49
Taula 17: Diferència entre les resistències a l'avanç mitjanes dels models <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i>	51
Taula 18: Valors de <i>GZ</i> de <i>MS-IOM III</i> i <i>MS-IOM IV</i> en funció de l'angle d'escora	52
Taula 19: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta <i>MS-IOM V</i> per a cada característica restringida	56
Taula 20: Taula comparativa entre les resistències de les propostes <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i> per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos	56
Taula 21: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i> per a velocitats entre 5 i 10 nusos	57
Taula 22: Taula comparativa entre resistències de les propostes <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i> per a velocitats entre 10 i 15 nusos.	57
Taula 23: Diferència entre les resistències a l'avanç mitjanes dels models <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i>	59
Taula 24: Valors de <i>GZ</i> de <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i> en funció de l'angle d'escora	60
Taula 25: Valors de <i>LCB</i> de <i>MS-IOM IV</i> i <i>MS-IOM V</i> en funció de l'angle d'escora	61
Taula 26: Taula de característiques mecàniques i preu unitari dels diferents tipus de resines – <i>Naval Composites</i>	76
Taula 27: Característiques mecàniques del polièster reforçat amb fibra de vidre – <i>Grupo Gazechim Composites</i>	77
Taula 28: Característiques mecàniques i tèrmiques del <i>CARBON-P</i> – <i>MCCP Mitsubishi Chemicals</i>	78

Taula 29: Primera estimació de la massa dels elements que conformen el buc	79
Taula 30: Segona estimació de la massa dels elements que conformen el buc	79
Taula 31: Tercera estimació de la massa dels elements que conformen el buc	80
Taula 32: Estimació de la massa dels apèndixs i els seus elements auxiliars	81
Taula 33: Estimació de la massa dels components electrònics, veles i aparells	81
Taula 34: Càlcul dels moments aplicats per cada element sobre 0,5 LOA i totals	83
Taula 35: Forces d'abatiment i de resistència a aquest	91
Taula 36: Màxim, mínim i valor obtingut en <i>Keel I</i> per a les característiques subjectes a restricció	92
Taula 37: Masses definitives de la quilla i els components del seu sistema d'ancoratge	111
Taula 38: Masses definitives del timó i els components del seu sistema d'ancoratge i accionament	111
Taula 39: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció del folre	128
Taula 40: Dimensions del folre una vegada finalitzat	134
Taula 41: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de la coberta de proa	135
Taula 42: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de la coberta de popa	138
Taula 43: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de les mampares	140
Taula 44: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció del bulb	142
Taula 45: Característiques tècniques de la impressora a emprar - <i>Boloberry</i>	145
Taula 46: Pesos calculats i pesos reals dels components impresos per impressió 3D	148
Taula 47: Llista de materials necessaris i quantitats per al muntatge final del buc i els apèndixs	149
Taula 48: Dades hidroestàtiques de la proposta <i>MS-IOM I</i>	163
Taula 49: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta <i>MS-IOM I</i>	164
Taula 50: Valors de <i>GZ</i> en funció de l'angle d'escora de la proposta <i>MS-IOM I</i>	165
Taula 51: Dades hidroestàtiques de la proposta <i>MS-IOM II</i>	167
Taula 52: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta <i>MS-IOM II</i>	168
Taula 53: Valors de <i>GZ</i> en funció de l'angle d'escora de la proposta <i>MS-IOM II</i>	169
Taula 54: Dades hidroestàtiques de la proposta <i>MS-IOM III</i>	171
Taula 55: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta <i>MS-IOM III</i>	172
Taula 56: Valors de <i>GZ</i> en funció de l'angle d'escora de la proposta <i>MS-IOM III</i>	173
Taula 57: Dades hidroestàtiques de la proposta <i>MS-IOM IV</i>	175
Taula 58: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta <i>MS-IOM IV</i>	176
Taula 59: Valors de <i>GZ</i> en funció de l'angle d'escora de la proposta <i>MS-IOM IV</i>	177
Taula 60: Dades hidroestàtiques de la proposta <i>MS-IOM V</i>	179
Taula 61: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta <i>MS-IOM V</i>	180
Taula 62: Valors de <i>GZ</i> en funció de l'angle d'escora de la proposta <i>MS-IOM V</i>	181
Taula 63: Dades de l'estudi d'arrossegament del disseny final	183
Taula 64: Valors de resistència a l'avanç del model <i>MS-IOM V</i> (sense apèndixs) i el disseny definitiu	184
Taula 65: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements del buc	186
Taula 66: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements de la quilla	186
Taula 67: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements del timó	187
Taula 68: Càlcul de la posició del centre de gravetat per al conjunt de components electrònics	187
Taula 69: Càlcul de la posició del centre de gravetat global de la embarcació	187
Taula 70: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 1)	188
Taula 71: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 2)	188
Taula 72: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 3)	188
Taula 73: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 4)	189
Taula 74: Dades de l'estudi de la posició d'equilibri per a les dues opcions de llast	190
Taula 75: Dades de l'estudi d'estabilitat de la embarcació amb la opció 2 de llast aplicada	191

Taula 76: Dades de l'estudi d'estabilitat de la embarcació amb la opció 4 de llast aplicada	192
Taula 77: Valors d'esforç i flexió màximes obtinguts per a <i>Keel I</i>	195
Taula 78: Valors d'esforç i flexió màximes obtinguts per a <i>Keel II</i>	197

Llistat d'Equacions

Equació 1: Fórmula de <i>Rating</i> de la categoria – <i>IRSA World Radio Sailing</i>	11
Equació 2: Resistència per fricció – <i>Resistencia Viscosa de Buques</i>	20
Equació 3: Resistència total d'una embarcació – <i>Resistencia Viscosa de Buques</i>	21
Equació 4: Resistència residual – <i>Resistencia Viscosa de Buques</i>	22
Equació 5: Coeficient de bloc – <i>Manual de teoria del buque</i>	23
Equació 6: Coeficient prismàtic - <i>Manual de teoria del buque</i>	23
Equació 7: Coeficient de quaderna mestra - <i>Manual de teoria del buque</i>	24
Equació 8: Coeficient d'afinament de les línies d'aigua - <i>Manual de teoria del buque</i>	24
Equació 9: equació per al càlcul de <i>LCG</i> – <i>Manual de teoria del buque</i>	82
Equació 10: càlcul del centre de gravetat longitudinal respecte 0,5 <i>LOA</i>	83
Equació 11: relació entre massa, volum i densitat	88
Equació 12: Càlcul del volum del bulb en cm^3	88
Equació 13: càlcul de la força d'un fluid projectat sobre una superfície	90
Equació 14: Igualtat de forces que eviten l'abatiment d'una embarcació	91
Equació 15: Superfície mínima de la orsa per a evitar l'abatiment	91
Equació 16: Relació entre les dimensions bàsiques de la embarcació i l'àrea mínima de la pala del timó	99
Equació 17: Càlcul de la superfície mínima del timó	100

Capítol 1. Introducció

En aquest capítol es resumeix la història del modelisme naval com a precursor de les regates de vela a radio control, i també es descriuen les institucions relacionades amb la vela a radio control i les diferents categories existents en la actualitat.

1.1 Història del modelisme naval

Malgrat la vela a radio control va despertar força interès a partir dels anys setanta, quan apareixen els primers equips de radio control comercials, aquesta activitat té més d'un segle d'història; llavors es realitzaven regates en formats que recorden els de la popular Copa Amèrica de Vela, consistent en regates un contra un entre un desafiador i un defensor.

La visita de la goleta Amèrica l'any 1851 a Anglaterra amb motiu de la celebració de la *Queen's Cup*, actualment coneguda com a Copa Amèrica de Vela va comportar un augment substancial de les activitats de modelisme naval.



Figura 1: Pintura de la goleta Amèrica - Náutica Digital

Dos anys més tard, el 1853, es va celebrar la primera regata internacional a *Birkenhead*, una localitat anglesa situada a l'oest de Liverpool. En aquest esdeveniment la embarcació anomenada *Black Joke* es va enfrontar, i va vèncer, a una balandra i a una goleta estatunidencs, i a una goleta local. La regata es difon a través d'un conegut diari anglès anomenat *The Field*. *D. Kemp*, conegut dissenyador de iots, n'era editor de regates.

El primer intent de normalitzar i regular l'esport data de 1911 amb la aparició de la MYRA¹, actualment coneguda com MYA². Es va arribar a un acord per a reconèixer la regla "Continental 80 cm". Les regles dels diferents països de l'època eren força diferents entre elles i l'acceptació d'aquesta regla va suposar l'aparició d'un model que va possibilitar competicions internacionals.

El 1912, la MYRA organitza un esdeveniment a *Enghien-les-Bains*, a França on van participar Anglaterra, França i Bèlgica. El guanyador va ser l'anglès *W.J. Daniels*, qui va arribar a ser famós, més tard, com a dissenyador, constructor i patró de iots a radio control.

L'any 1923, *Daniels* repta als navegants estatunidencs. Després de que s'acceptés el desafiament, va marxar als Estats Units amb el seu iot anomenat *Endeavour* a competir. Va ser derrotat pel *Polka Dot* de *E.A. Bull*, per tractar-se d'una embarcació tècnicament més avançada. Es va acordar una visita per part dels estatunidencs per tal de disputar una revenja.

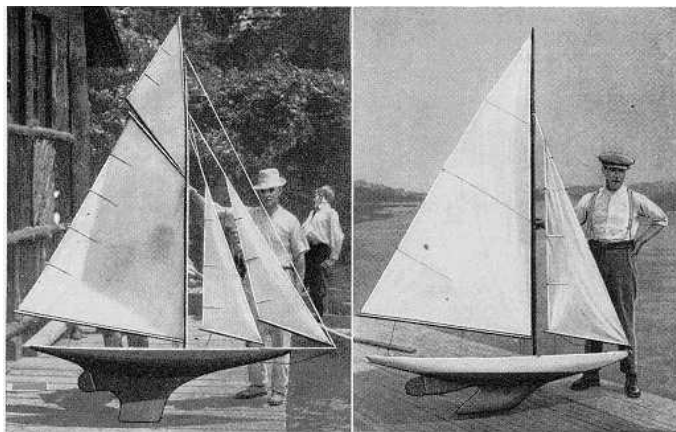


Figura 2: A la esquerra, el *Polka Dot* de *E.A. Bull*; a la dreta l'*Endeavour* de *Daniels*. - US Vintage Model

Poc després apareix llavors la revista *Yachting Monthly*. El seu editor, *M. Heckstall-Smith*, havia desenvolupat unes noves regles de classificació i s'esperava que aquestes regles substituïssin als reglaments de sis i dotze metres. Amb la finalitat de provar les seves idees i de consolidar les regates internacionals, la revista *Yachting Monthly* va donar una copa de les cent guinees, nom amb el que es coneix el trofeu atorgat a la Copa Amèrica de Vela; i les regles de classificació amb les que es van construir els vaixells a la MYA per tal de competir per la copa.

Ja aquell mateix any, el *Royal Danish Yacht Club* va llançar un desafiament per la copa, i van ser derrotats per *Daniels* amb un altre model; l'*Invader*. L'any següent, el 1924, els danesos van tornar desafiar a *Daniels*, qui els va derrotar amb el *Crusader*. Un any més tard es *J. Weaver*, dels Estats Units; qui desafia

¹ *Model Yacht Racing Association*

² *Model Yacht Association*

a *W.D. Daniels*. El *Sliper* va caure derrotat contra la mateixa embarcació. Aquestes tres victòries van suposar que *Daniels* guanyés la copa en propietat. La revista va presentar una nova copa un any més tard.

Es forma la *IMYRA*³ l'any 1927, a Gosport (Anglaterra). Amb l'aparició d'aquesta nova associació, de la que se'n van fer membres Alemanya, Bèlgica, França, Letònia, Noruega, els Estats Units i el Regne Unit; es va adoptar la classe *Yachting Monthly 6 metres* com a la classe *International A* i el reglament de regates de la *MYA* com a reglament internacional de regates. Però la falta d'atenció per part dels secretaris i els problemes polítics i financers del continent europeu van provocar que s'anés perdent el contacte entre els diferents organismes nacionals, i amb el temps; el secretari d'aleshores va informar a la *MYA* la impossibilitat de mantenir la organització, considerant la *IMYRA* com a inexistent.

L'any 1936 es constitueix la *IMYRU*⁴ a la localitat de Gosport, situada al sud d'Anglaterra. Amb l'esclat de la segona guerra mundial queda inactiva. En paral·lel, durant aquest mateix període de temps la *Yachting Monthly Cup* continua la seva activitat regularment. Competidors d'origen anglès van poder guanyar la copa un total de dotze vegades. El noruec *S. Berge* va quedar campió dos vegades més. Cap victòria per part dels Estats Units que va quedar sots-campiona nou anys consecutius amb cinc derrotes de *J. Black*, dues de *J. Weaver* i una de *C. Baron* i *F. Pigeon*.

L'any 1933 es celebra la regata de Chicago, on s'hi van inscriure 10 participants, incloent-hi un vaixell anglès procedent del *MYC*⁴ de *Bournville*. El guanyador va ser l'estatunidenc *J. Black* amb el *Bostonia III*. Tres anys més tard té lloc a Hamburg la regata olímpica, després dels Jocs Olímpics, en un llac construït exclusivament per al esdeveniment. Es naveguen dues classes: la classe *International A* reconeguda uns anys abans; i la classe *Marblehead*, o classe *M*. Els guanyadors van ser: de la classe "A", *B. Daniels*, amb el *Fusillier*; per a la classe *International A*; i de la classe *M*, *J. Black* amb el *Cheerio*.

Després de la guerra, l'any 1948 disputa a Gosport un campionat *All Nations* amb participants procedents d'Austràlia, Bèlgica, Dinamarca, França, Portugal, Estats Units, Anglaterra, Gales, Escòcia i Irlanda del Nord. La victòria va ser per els Estats Units. Dinamarca va ser segona, per davant d'Anglaterra. Després de la regata es celebra una reunió on va quedar reconstituïda la *IMYRU*⁵.

Un any després, es restableixen les competicions de la *Yachting Monthly Cup* a Anglaterra. Els Estats Units amb *Ranger*, patronejat per *B. Bithell* i *A. Ballantyne* resulten guanyadors. Aquesta primera victòria a la copa va ser presenciada per més de tres mil espectadors i va suposar una dura derrota per a Anglaterra.

³ *International Model Yacht Racing Association*

⁴ *Model Yacht Club*

⁵ *International Model Yacht Racing Union*



Figura 3: Bill Bithell a l'any 1948 - US Vintage Model

Sense activitat l'any 1950, al 1951 la MYA reuneix diners suficients per enviar a *W. Jones* i *R. Jurd* a Boston per a renovar el desafiament entre Estats Units, per primer cop defensor de la *Yachting Monthly Cup* i Anglaterra. Estats Units es defensa amb el *Ainslie*, dissenyat per *F. Pigeon*. Era una versió modificada del seu anterior vaixell, el *Ranger*. El van navegar *B. Bithell* i *A. Ballantyne*. Anglaterra repta amb el *Shalimar*, que malgrat que ofereix un comportament molt bo en condicions de vent dèbil, no es suficient per evitar la nova victòria dels americans. El 1953 és el Canadà qui desafia per la copa, resultant en una tercera i clara victòria dels Estats Units, que queda en propietat de la copa. Aquesta va ser tornada gentilment a la MYA, a qui pertany des de llavors.

Durant el transcurs de la història, altres nacions a part de els Estats Units i Anglaterra han guanyat la copa. Aquestes han sigut Alemanya, Bèlgica, Dinamarca, França, i Holanda.

Els equips de radio control apareixen a principis dels anys setanta, i aquest fet fa ressorgir l'interès per les regates de modelisme naval. La MYA lidera aquest ressorgiment publicant regles de regata basades en les regles de la IYRU⁶ per a vaixells grans, posteriorment aprovades per la IMYRU. A aquesta associació s'hi van afegint països fins a ser un total de 34 l'any 1998.

El primer campionat mundial es celebra a Gosport l'any 1975. Hi van prendre part nou països, i es van navegar les classes *Marblehead* (classe M) i *Ten Rater*. Posteriorment, s'han anat celebrant campionats mundials de manera regular.

⁶ *International Yacht Racing Union*



Figura 4: Competició de la classe *Ten Rater*- *IRSA World Radio Sailing*

La primera embarcació d'un metre d'eslora apareix l'any 1950. Des de llavors, entre aquell any i el 1988 s'acorden diversos reglaments per a vaixells d'aquesta eslora. Definitivament sorgeix el reglament de la classe *IOM*⁷ l'any 1988 amb la finalitat de permetre la realització d'esdeveniments i competicions a nivell mundial de vaixells d'un metre d'eslora. La idea era permetre una construcció econòmica i que a la vegada les embarcacions fossin competitives entre sí.

Es una classe relativament nova. Es crea per la *IRSA*⁸, concretament per *J. Dejmo*, amb l'assessorament de *G. Bantock* i del comitè de la *IMYRU*, predecessora de la actual *IRSA*; l'any 1988. La classe no ha deixat de progressar sostingudament des que va ser creada. Les regles de classe inicial eren molt estrictes, de manera que això permetés als navegants demostrar la seva habilitat: la filosofia era assegurar la construcció de vaixells molt semblants, i permetre la construcció pròpia.

Debut a l'èxit que ha tingut la classe, s'han anat realitzant canvis periòdics en les regles, per a assegurar que es mantingui l'esperit de la classe. Les restriccions més notòries han sigut les que afecten als materials permesos per a la construcció dels vaixells i a la forma dels aparells. Actualment, aquesta classe es la més competitiva a nivell mundial. En les competicions de classe *IOM* es on es poden trobar els capitans de més experiència i habilitat.

Actualment la classe compta amb 38 països associats: Argentina, Austràlia, Àustria, Barbados, Bèlgica, Bielorússia, Brasil, Canadà, Xile, Croàcia, La República Txeca, Dinamarca, Espanya, Finlàndia, França, Gran Bretanya, Alemanya, Grècia, Irlanda, Israel, Itàlia, Japó, Malàisia, Malta, Holanda, Noruega, Nova Zelanda, Polònia, Portugal, Corea, Sudàfrica, Rússia, Suïssa, Suècia, Tailàndia, Ucraïna, i els Estats Units d'Amèrica. Existeix una associació de classe a nivell mundial, *IOMICA*⁹ constituïda l'any 2010.

⁷ *International One Meter*

⁸ *International Radio Sailing Association*

⁹ *International One Meter International Class Association*

La normativa també ha anat sent actualitzada des de l'aparició de la primera regla, sent la versió més recent l'actualització realitzada l'any 2017.

La popularitat de la classe *IOM* es tal que ja se'n han celebrat diversos mundials espaiats quatre anys entre sí. L'última edició va ser a *Foster City*, als Estats Units. La següent edició està prevista per al 2019 a *Porto Alegre*, Brasil.



Figura 5: Cartell del campionat del mon de la classe IOM l'any 2015 - IRSA World Radio Sailing

La historia del modelisme naval es troba resumida en l'esquema a la figura (6), a sota.

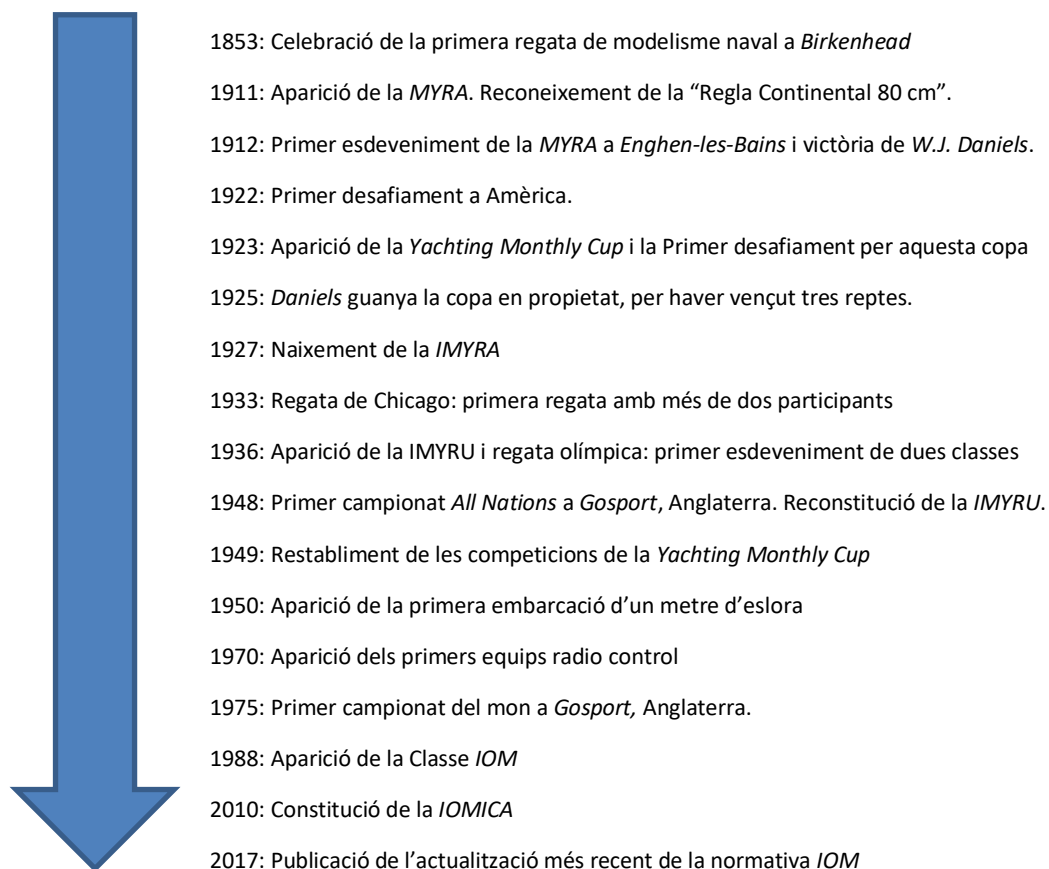


Figura 6: Esquema de les fites històriques de més rellevància del modelisme naval

1.2 Institucions relacionades amb la classe IOM

Actualment existeixen diversos tipus d'esdeveniments i competicions de vela radio control regulades per una normativa determinada. Amb l'objectiu de crear, mantenir i actualitzar les normatives reguladores de les diferents classes i de les competicions, de garantir un correcte compliment d'aquesta per part dels participants, així com de fomentar la vela a radio control a nivell mundial i nacional, existeixen un conjunt d'institucions que s'exposen a continuació.

1.2.1 Institucions Internacionals

A nivell internacional, tenim les institucions següents:

- *World Sailing* (Antiga *ISAF*, de l'anglès *International Sailing Federation*)
- *IRSA* (de l'anglès *International Radio Sailing Association*).
- *IOMICA* (de l'anglès *International One Metre International Class Association*):

World Sailing és el màxim organisme de govern de l'esport de la vela a nivell mundial. S'encarrega principalment de la promoció internacional de l'esport de la vela, la organització de la vela als Jocs Olímpics i Paralímpics, el desenvolupament de les *Racing Rules of Sailing* i de regulacions per a totes les competicions de vela i la formació de jutges, àrbitres i administradors. També s'encarrega del desenvolupament mundial de l'esport de la vela i de representar els navegants en tots els assumptes relacionats amb l'esport. Els principals membres de la *World Sailing* són les MNAs¹⁰ i les associacions de classe. De la vela radio control, les associacions de classe membres són *Marblehead*, *RC A Class*, *Ten Rater* i *One Metre*.

La *IRSA* és la associació de la vela radio control a nivell mundial. És una organització membre de *World Sailing*. Aquesta organització s'encarrega de promoure i realçar tant les existents classes de *Radio Sailing* com les noves classes emergents, a través de la publicació i desenvolupament de regles de classe consistents, mètodes de mesura, regles de competició i assessorar la operació de grans competicions. És aquest organisme l'encarregat de la publicació de les normes que regulen la construcció de les embarcacions de vela a radio control. La *IRSA* deriva de la *IMYRU*.

Les *ICA*¹¹ són les associacions internacionals de classe. Aquestes institucions tenen tres àmbits principals d'actuació: les normes de classe, els esdeveniments i competicions internacionals, i els processos de mesura. Sempre realitzen les seves funcions sota la jurisdicció de la *ISAF*. La *IOMICA* és la associació internacional de classe per a la classe *IOM*. Aquesta associació s'encarrega en concret de la promoció a nivell mundial de la classe *IOM*, promocionar, interpretar i revisar les regles de classe; proporcionar una estructura mundial per a la gestió de la classe, promocionar i revisar reglaments per als campionats de classe de nivell internacional i guions i regulacions per a esdeveniments de la classe i fomentar la formació de mesuradors. Paral·lelament també promou la formació d'associacions nacionals de classe en els països

¹⁰ de l'anglès *Member National Authorities*, Autoritats dels Membres Nacionals.

¹¹ *International Class Association*

on es realitzen competicions *IOM*, proporciona una estructura per a l'intercanvi de informació entre usuaris i assessora la organització d'esdeveniments.



Figura 7: D'esquerra a dreta, logotips de *World Sailing*, *IRSA* i *IOMICA - World Sailing, IRSA World Radio Sailing* i *IOM International Class Association*

1.2.2 Institucions Nacionals

Dins de l'àmbit nacional, relacionades amb la vela radio control es troba la *Asociación Nacional de Vela a Radio Control (ANVRC)*.

La *ANVRC* és la associació representant de la *IRSA* davant la *RFEV*¹², qualsevol federació d'àmbit autonòmic o provincial, i qualsevol organisme institucional. S'encarrega de fer complir les especificacions i les regles de la *IRSA* i de la *RFEV*, assegurar la inscripció dels vaixells de radio control dins dels registres de la associació i fomentar la pràctica de la vela radio control a nivell espanyol. Malgrat es defineix com una associació que pretén englobar totes les classes de vela a radio control que es naveguen a l'estat espanyol, dins la *ANVRC*, la classe *IOM* pren molt protagonisme per l'alta popularitat d'aquesta classe a Espanya.

Les *NCA*s¹³ són semblants a les *ICA* però en àmbit nacional. S'encarreguen de la promulgació de les normes de classe, gestionar la classe a nivell nacional, assessoren i/o organitzen competicions de la classe a nivell nacional, i fomenten la classe a nivell nacional. Un exemple de *NCA* podria ser la *IOMCAT*, la associació nacional de la classe *IOM* a Catalunya.

¹² *Real Federación Española de Vela*

¹³ *National Class Association*



Figura 8: Logotip IOMCAT – Associació IOMCAT de Vela rc

1.3 Classes d'embarcacions a vela radio control

Hi ha diverses classes d'embarcació de vela a radio control populars arreu del món. Un total de quatre categories estan reconegudes per la *World Sailing* i disposen d'una normativa en vigor. Per a participar en regates oficials de la classe cal disposar d'una embarcació certificada a través d'un procés de certificació oficial.

Aquestes quatre classes son les següents:

1. Classe *RC A* o *International A*
2. Classe *Marblehead*, o classe *M*
3. Classe *Ten Rater*, o *10R*
4. Classe *International One Meter*, o *IOM*

Paral·lelament a aquestes quatre classes es poden trobar altres classes de diversos fabricants, no regulades de manera tan extensa; però també amb unes característiques concretes.

A continuació es donen més detalls de les categories amb associació de classe membres de *World Sailing*.

Classe RC A o International A

Els velers de la classe A internacional no tenen la eslora limitada. Es una classe oberta, on les dimensions de les embarcacions estan controlades per una fórmula que equilibra l'eslora de flotació, el desplaçament i la superfície vèlica. En concret, quan el desplaçament decreix també ho fa la superfície vèlica. I per contra, quan l'eslora de flotació augmenta, decreix la superfície vèlica.

Aquesta fórmula va ser promulgada l'any 1922. per *M. Heckstall-Smith*, editor de la revista anglesa *Yachting Monthly*. Pretenia ser una alternativa a les regles internacionals linears. Es fan servir encara unes regles de *rating* semblants per a les regles de classe de la categoria de 5.5 metres, que també fa servir elements de les regles linears. Aquesta classe és la més antiga, i la versió més actual de la normativa que la regula data de l'any 1994.

Malgrat els velers de la classe A son pesats, existeix flexibilitat per a la creació de formes de bucs més lleugeres. Son velers grans comparats amb altres categories de vela a radio control i les flotes d'una competició de classe A son impressionants de veure.

Un veler de la classe A modern s'acostuma a construir fent servir fibra de carboni per a la construcció del buc, cobertes i reforços. També es habitual la utilització de *foils* amb diversos objectius.

Les embarcacions d'aquesta classe son monobuc, amb eslores d'entre 1,6 i 1,9 metres i desplaçaments que van des de 12 a 18 kilograms. El calat total és de 300 mil·límetres. El pal ha de ser fixe, doncs està prohibit el pal rotant. Les superfícies vèliques d'aquesta categoria oscil·len entre 0,9 i 1,1 metres quadrats, i es permet l'ús d'un foc, una major i un espinàquer. En quant als apèndixs es permet l'ús de *foils* i tots han de ser fixos.



Figura 9: Competició de la classe RC A - IRSA World Radio Sailing

Classe Marblehead o M

La classe *Marblehead*, també coneguda com a classe *M*, se la anomena la *Fórmula 1* de les classes de vela a radio control.

Els vaixells disposen de dimensions i pesos moderats, res a veure amb les dimensions amb les que es treballa a la classe *RC A*. Això, conjuntament amb una gran maniobrabilitat i estabilitat, fan que els *Marbleheads* siguin una classe molt emocionant de navegar.

Està regulada per unes regles de caixa: l'embarcació ha d'entrar dins d'uns límits màxims que generalment afecten eslora, calat i calat aeri o alçada de pal. Fora d'això, les restriccions són mínimes, tenint pràcticament plena llibertat en les formes del buc, configuració d'aparells, etc.

Tradicionalment, i des dels anys 90; els vaixells d'aquesta categoria s'han construït fent servir materials de gran sofisticació tecnològica. Un *Marblehead* modern està construït en la seva pràctica totalitat en fibra de carboni.

Aquestes embarcacions son monobucs de fins a 1,3 metres d'eslora. Desplacen entre 4,5 i 5,5 quilograms. El calat màxim es troba limitat a 700 mil·límetres i el puntal del pal a 2160. La superfície vèlica es de 0,7 metres quadrats i es permet l'ús de foc i major. En quant als apèndixs, aquests han de ser fixos.



Figura 10: Competició de *Marbleheads* - IRSA World Radio Sailing

Classe Ten Rater o 10R

La característica més notable d'aquesta classe de velers a radio control es la no limitació de l'eslora per part de les regles de classe. Els velers d'aquesta classe solen ser, com a norma general, lleugers, estrets, estables, molt mariners, i bastant ràpids.

La normativa actual de la IRSA vigent per a aquesta categoria està basada en una regla de 1887, la qual obliga a que la relació entre l'eslora i la superfície vèlica sigui constant. La equació (1) detalla aquesta regla.

$$L \cdot S \cdot 8 = 10$$

Equació 1: Fórmula de Rating de la categoria – IRSA World Radio Sailing

Això permet vaixells més curts equipar veles amb més superfície; i per contra, obliga a reduir la superfície vèlica si s'incrementa l'eslora. Es una classe oberta que permet una gran llibertat a l'hora de dissenyar i construir les embarcacions, especialment en les formes del buc, l'aparell i plans vèlics. En les competicions de *Ten Rater*, es poden veure embarcacions amb formes molt diferents entre sí. És comú la construcció íntegra en fibra de carboni, i es habitual l'ús de *foils*.

Les embarcacions *Ten Rater* son monobucs. La superfície vèlica i la eslora segueixen la relació exposada a la equació (1). No obstant, i a nivell orientatiu, les eslores oscil·len entre 1,3 i 1,8 metres mentre que la superfície vèlica ho fa entre 0.9 i 1,1 metres quadrats. El calat màxim es limita a 700 mil·límetres i desplacen entre 5 i 7 quilograms.



Figura 11: Competició de Ten Raters - IRSA World Radio Sailing

Classe International One Meter o IOM

És la classe més popular per a les competicions de vela a radio control. Es disputen competicions en uns 30 països arreu del mon.

La classe és molt popular entre els dissenyadors i fabricants *amateurs*, existeixen molts dissenys de vaixells competitius ideats per un conjunt molt divers de dissenyadors; i també existeixen fabricants professionals que proveeixen kits per a la construcció pròpia o embarcacions completament construïdes.

Aquesta classe és la més restrictiva de les quatre de la ISAF. Per al buc s'empra una regulació de caixa, i els aparells tenen una forma única. La fibra de carboni no està permesa per a la construcció del buc, tot i què es permet per a la quilla i el timó. Els bucs acostumen a ser de fibra de vidre o fusta.

La classe *IOM* està regulada per la seva pròpia associació internacional de classe, la *IOMICA*.

Es tracta d'embarcacions monobuc d'eslora màxima limitada a un metre, el calat total ha d'estar entre 370 i 420 mil·límetres, i el buc pot tenir un calat de màxim 60 mil·límetres. El desplaçament mínim ha de ser de 4000 grams i es limita també la massa dels apèndixs: entre 2200 i 2500 grams la de la quilla i màxim 75 grams la del timó. La superfície vèlica màxima d'aquestes embarcacions és de 0,6 metres quadrats.

En el capítol 2 es fa una revisió completa de la normativa que regula el disseny i la construcció de les embarcacions d'aquesta classe.



Figura 12: Imatge de la portada de la normativa IOM - *IRSA World Radio Sailing*

La taula comparativa següent recull les característiques de cada categoria per tal de possibilitar la comparació entre les diferents classes.

		<i>Tipus</i>	<i>LOA (mm)</i>	<i>Calat (mm)</i>	<i>Desplaçament (g)</i>	<i>S. Vèlica (m2)</i>	<i>Veles Permeses</i>	<i>Apèndixs</i>
International A	min.	Monobuc	1600	n/a	12000	0,9	Major, floc i espinàquer	fixos, <i>foils</i> permesos
	max.		1900	300	18000	1,1		
Marblehead	min.	Monobuc	n/a	n/a	4500	n/a	Major i floc	fixos, <i>foils</i> permesos
	max.		1300	700	5500	0,7		
Ten Rater	min.	Monobuc	Segons	n/a	5000	Segons	Major i floc	Fixos, <i>foils</i> permesos
	max.		Rating	700	7000	Rating		
IOM	min.	Monobuc	n/a	370	4000	n/a	Major i floc	fixos
	max.		1000	420	n/a	0,6		

Taula 1: Taula comparativa de les característiques de les diferents classes de vela a radio control – *IRSA World Radio Sailing*

Capítol 2. Conceptes Teòrics

En aquest capítol es fa un resum de tots els conceptes teòrics susceptibles de ser necessaris per a la consecució del projecte

2.1 Normativa de la classe IOM

En aquest apartat s'estudia en detall i es resumeixen tots els aspectes de la normativa de la classe IOM que cal tenir en compte per al posterior disseny i construcció de la embarcació.

Per a l'estudi de la normativa es fa servir la versió més actualitzada. Aquesta edició de la normativa correspon a la edició del 2017 i es pot trobar al web de la IOMICA.

2.1.1. Secció A: General

Aquest apartat de la normativa aborda generalitats i aspectes jurídics de la normativa i de l'administració de la classe, del registre d'embarcacions i de la certificació d'aquesta. També determina la validesa del certificat i defineix el concepte de "conformitat amb les regles de classe".

D'aquesta secció de la normativa caldrà tenir en compte els aspectes següents:

- 1 Es detalla l'idioma oficial de la classe: l'anglès, que prevaldrà en cas que existeixi alguna discrepància en la traducció de la normativa a un idioma particular i la versió original en aquesta llengua.
- 2 També defineix obligatorietat i permissivitat a través de les expressions "haver de" (*shall*) i "poder" (*may*), respectivament.
- 3 Es defineix que una embarcació deixà de complir les regles de classe en cas que:
 - a. Faci servir equipament en desacord amb les restriccions de la classe.
 - b. Faci servir equipament que comporta que un vaixell no compleixi amb les limitacions d'un certificat emès per aquest.
 - c. Es modifiqui o es repari l'equipament que sigui objecte de mesura a excepció de quan ho permetin les regles de classe.
 - d. Existeixi un canvi en les regles de classe que causi la obsolescència de l'equipament en ús, a excepció que aquest equip fos reglamentari d'acord amb la normativa vigent en el moment de la seva mesura fonamental.

2.1.2. Secció B: Admissibilitat d'una embarcació

Aquesta secció parla dels requisits necessaris que ha de disposar una embarcació per a poder prendre part en regates oficials de la classe.

A tenir en compte el següent:

1. Caldrà disposar d'un certificat vàlid
2. Caldrà col·locar un adhesiu de la associació de classe quan la IOMICA o una NCA així ho facin requerir

En la mateixa secció de la normativa s'indiquen els supòsits en els que un certificat deixa de ser vàlid.

2.1.3. Secció C: Condicions de regata

Aquesta secció de la normativa indica restriccions en les dimensions generals de la embarcació i en alguns dels components que conformen aquesta. També regula alguns aspectes del llast, de la eixàrcia fixa i de labor, i també de les veles (floc i major) i el pal. Regula també quina informació procedent de la embarcació pot ser utilitzada per el patró o patrons.

Referent al conjunt del vaixell, cal tenir en compte les següents restriccions:

	Mínim	Màxim	
Calat total de la embarcació	370	420	mm
Calat del buc	n/a	60	mm
Eslora total	n/a	1000	mm
Desplaçament (excloent la grímpola)	4000	n/a	g

Taula 2: Restriccions de la normativa en les dimensions de la embarcació – *International One Meter Class Rules 2017*

I adicionalment:

1. Que si s'haguessin de fer servir pesos correctors, s'hauran de fixar i immobilitzar al buc.
2. Que no podran ser moguts ni alterats durant una regata
3. Que no es podrà fer servir aigua per a ajustar l'assentament de la embarcació
4. Que qualsevol abordatge d'aigua haurà de poder ser extret en qualsevol moment.

Afectant particularment al buc i/o a components d'aquests, les regles de classe indiquen que:

1. Caldrà ubicar el nombre de registre del buc, en una altura de lletra de vint (20) mil·límetres com a mínim; sobre el folre o la coberta.
2. Les unitats de control de les escotes o el timó únicament podran controlar l'element per al que s'instal·len.
3. Els patrons només podran disposar de la següent informació procedent del vaixell
 - a. La posició de les unitats de control
 - b. La informació de l'enllaç de la radio
 - c. La monitorització de l'estat de les bateries del receptor
4. Que, i en cas de substitució, els equips de control remot s'hauran de col·locar en la mateixa posició i substituir per un de pes semblant.

Referint-se en particular als apèndixs, la normativa indica que:

1. Només una quilla i un timó es poden emprar en una regata, a excepció de pèrdua o trencament sense possibilitat a reparació

- 2 Només s'accepta la flexió de la quilla com a moviment vàlid. El desplaçament o rotació sobre un eix (quilla pivotant) està prohibit.
- 3 Els apèndixs no poden sobresortir de la vertical d'aquest
- 4 En cas de remoció, qualsevol apèndix o component d'apèndix caldrà que ocupi la mateixa posició relativa respecte el buc.

Timó i quilla hauran, a més de complir les restriccions de la taula següent:

	Mínim	Màxim	
Pes de la quilla (excloent la fixació al buc)	2200	2500	<i>g</i>
Timó (excloent la metxa)	n/a	75	<i>g</i>

Taula 3: Masses màximes i mínimes de la quilla i el timó - *International One Meter Class Rules 2017*

En aquest mateix apartat es regulen també aspectes de l'eixàrcia fixa, de l'eixàrcia de labor, de les veles major i foc (les úniques permeses per la normativa). No obstant, la elaboració d'aquest projecte no contempla ni el disseny ni la construcció ni la instal·lació de cap d'aquests elements.

2.1.4. Secció D: Buc

Aquesta secció de la normativa regula aspectes de disseny i constructius que afecten el buc (i tots els elements que el componen). Fa referència als materials que es poden emprar, a les marques de mesura per a la obtenció del certificat, i als equips de radio control.

Es permet la fabricació del buc i els seus element només fent ús d'un o varis dels materials llistats a continuació:

- 1 Metall
- 2 Fusta, o productes basats en fusta que continguin només materials d'aquesta llista
- 3 Resina, que pot ser tenyida i/o reforçada amb fibra de vidre
- 4 Adhesiu
- 5 Vernís i/o pintura
- 6 Materials en làmines per a recobriments, també podent estar reforçats amb fibra de vidre
- 7 Elastòmer
- 8 Termoplàstic modelat, i que només contingui materials autoritzats

El buc ha de ser mono buc. No pot tenir obertures ni al pla de flotació ni a l'obra viva a excepció de la llimera per al timó i la obertura per a la caixa de la quilla. No pot tenir enfonsaments de més de tres (3) mil·límetres de profunditat quan s'observin des del perfil o la planta del buc. Els primers deu (10) mil·límetres a proa han de ser elàstics, i s'ha de posicionar el timó per darrere de la quilla.

No es restringeixen les ferramentes. Només les que afecten a rigidesa, solidesa, resistència o estanqueïtat. Aquestes s'han de construir amb els materials llistats anteriorment.

L'equip de radio control pot estar compostat per un (1) o més receptors i només un unitat de control per a les escotes, i una altra per al timó; independents. Es poden equipar una o més bateries, i els corresponents cables, connectors i interruptors. També es pot integrar un indicador de tensió de la bateria i un regulador de tensió. Aquests s'han de subjectar amb materials de la llista anterior, afegint el *velcro*.

2.1.5. Secció E: Apèndixs del buc

En aquesta secció es detallen de nou aspectes de disseny i/o de construcció, però aquest cop aplicats als apèndixs del buc, que segons s'estableix en la secció C només podran ser una (1) quilla (composada per una aleta o orsa, i un bulb) i un (1) timó.

Per a la construcció només es poden fer servir materials de densitat inferior a 11340 kg/m^3 (la del plom). La construcció no es regula, però s'exigeix que:

- 1 Ambdós apèndixs siguin desmuntables
- 2 No estiguin connectats el timó i la quilla
- 3 Tinguin orificis que permetin la circulació d'aigua a través d'aquests

Es limita la dimensió transversal de la quilla en vint (20) mil·límetres. Aquesta restricció no aplica als seixanta (60) mil·límetres inferiors.

2.1.6. Secció F: Aparell i Secció G: Veles

Aquestes seccions recullen totes les restriccions de dimensions, disseny i de construcció que corresponen als components de l'aparell vèlic (eixàrcia fixa, de labor, veles, pal i botavares). No s'estudien en profunditat per no ser objecte d'aquest projecte.

2.1.2. Secció H: Il·lustracions

En aquesta última secció es donen il·lustracions que poden ser d'ajuda per al disseny, o necessàries per a la construcció.

Es pot trobar un croquis de la insígnia de classe i dimensions que aquesta ha de tenir.

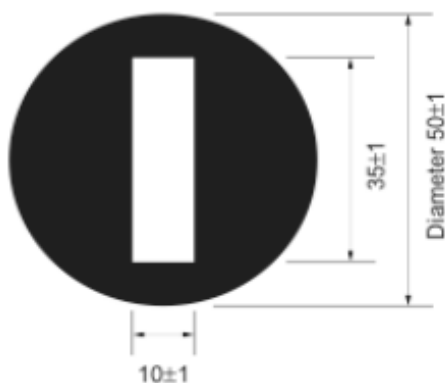


Figura 13: Insígnia de la classe IOM i dimensions - *International One Meter Class Rules 2017*

També s'inclou un croquis explicatiu de les concavitats que pot tenir el buc i com es mesuren aquestes

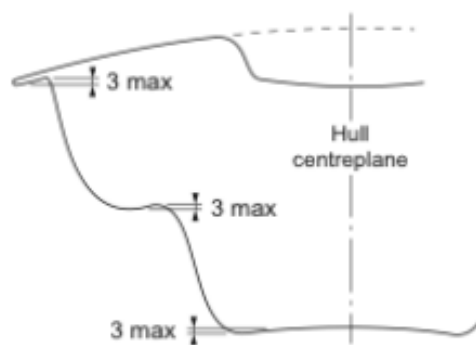


Figura 14: Croquis aclaridor de les concavitats permeses - *International One Meter Class Rules 2017*

2.2 Disseny, concepte i metodologia

El disseny es pot entendre com un procés de configuració previ en la busca d'una solució independentment del camp en el que es treballi. És el conjunt d'activitats que permeten la determinació d'una solució concreta a una necessitat particular, la definició de les seves dimensions i característiques; i la seva representació gràfica.

Disseny en espiral

Una metodologia habitual de disseny es la coneguda com disseny en espiral. Es fa servir en in comptables àrees de la indústria. Aquest mètode consisteix en la repetició (iteració) de totes les tasques que corresponen al procés de disseny tantes vegades com sigui necessari, permetent la obtenció d'un resultat que, amb cada iteració, s'apropa més al resultat definitiu que es busca.

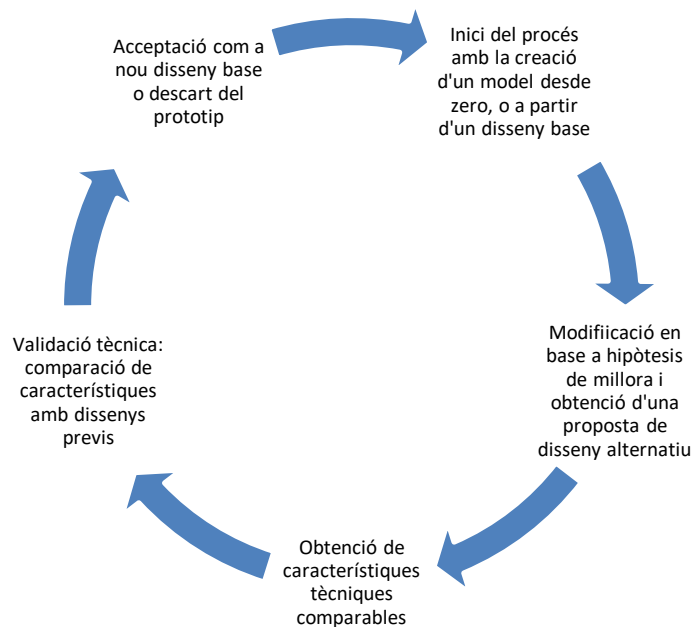


Figura 15: Esquema de disseny en espiral

2.3 Resistència a l'avanç

Es defineix la resistència a l'avanç a una velocitat de terminada com la força necessària per a remolcar una embarcació a aquesta velocitat en aigües tranquil·les.

Al segle passat, *Froude* va suposar que la resistència d'un vaixell estava composta de dues parts separades i independents:

- La resistència de fricció, que es igual a la resistència d'una placa plana equivalent, d'eslora i superfície mullada igual que el vaixell.
- La resistència residual, que es la diferencia entre la resistència total i la de fricció.

Posteriorment es van anar separant de la resistència residual els seus components. Malgrat totes les components de la resistència interactuen entre sí d'una manera complicada, s'acostuma a considerar la resistència total com a resistència composta de quatre components principals:

1. Resistència de fricció: originada pel moviment del buc en un fluid viscos i que fa que les partícules d'aigua siguin accelerades tangencialment a la superfície del cos.
2. Resistència per formació d'ones: debut a l'energia que s'ha de subministrar constantment pel vaixell al sistema d'ones creat a la superfície de l'aigua; que equival, per tant, a l'energia emprada en accelerar les partícules d'aigua verticalment contra la força de la gravetat.
3. Resistència de forma: composta a la seva vegada per:
 - o La originada per no ser el vaixell una placa plana; sent, per tant, l'energia gastada en accelerar les partícules d'aigua lateralment.
 - o La originada per la formació de remolins, ja que al tenir el buc una curvatura determinada, en certs cassos l'aigua no pot seguir la seva forma i es separa. Aquests remolins es poden formar també localment debut als apèndixs (timó, orsa, ...).
4. Resistència de l'aire: energia gastada en vèncer l'acció de l'aire sobre l'obra morta del vaixell.

Resistència per fricció

Quan un vaixell navega es forma al seu costat una regió que augmenta en extensió de proa a popa que és la part visible de la capa límit. Demuestra que hi ha un cert consum d'energia emprada en accelerar les partícules d'aigua tangencialment a la superfície del cos i que dona origen a una resistència anomenada resistència de fricció. Encara en vaixells nous amb una superfície de buc llisa, aquesta resistència representa entre el vuitanta (80) i el vuitanta-cinc (85) per cent de la resistència total si el vaixell es lent, i un cinquanta (50) per cent si el vaixell es ràpid. El càlcul de la resistència de fricció sempre es fa a partir de la resistència d'una placa plana equivalent, entenent com a tal la que la mateixa eslora i superfície mullada que el vaixell. Es pot emprar la següent fórmula:

$$R_f = fSV^{1.825}$$

Equació 2: Resistència per fricció – Resistència Viscosa de Buques

On:

- S : superfície mullada
- V : velocitat del vaixell
- f : coeficient variable en funció de les característiques del buc

El coeficient f disminueix quan augmenta la longitud de la placa, menys quan es tracta de plaques molt curtes. Està molt influenciat pel grau de rugositat de la superfície en qüestió, augmentant quan també ho fa la rugositat.

Resistència Viscosa

Un vaixell no es una placa plana, i per tant es necessari conèixer les diferències existents entre el flux al llarg d'una placa plana, bidimensional; i el flux al llarg d'un vaixell, flux en tres dimensions. S'ha de tenir en compte que un vaixell en moviment genera trens d'ones. Alteren la línia de flotació de disseny horitzontal, i per tant, també ho fa la superfície mullada del vaixell. No obstant, l'efecte que això comporta sobre la resistència és petit.

La curvatura transversal del vaixell així com la curvatura longitudinal tenen una influència en la resistència total al avanç. Això fa que les línies de corrent tinguin una longitud major. La variació de la velocitat del flux al llarg d'una superfície amb curvatura es la causa principal de que la resistència real d'un vaixell no coincideixi amb la resistència d'una placa plana. També, en un fluid real, el desenvolupament de la capa límit sobre la superfície d'un cos que s'hi troba flotant en ell altera la distribució de pressions donant lloc a una resistència que arriba a valors considerables i que es una de les principals components de la resistència de forma.

Aquesta resistència pot ser de dos tipus:

1. el primer d'ells es dona en cossos de formes contínues i no existeix separació de flux, o d'existir s'estén en una zona normalment no molt gran.
2. El segon, normalment donat en cossos amb sortides brusques, el flux es separa d'una forma apreciable. En la resistència al avanç de vaixells normalment existeix el primer tipus.

Un altre fenomen que afecta a la resistència és la separació de la capa límit¹⁴, quan les partícules de fluid no poden mantenir-se adherides a la paret d'un sòlid submergit en ell debut a la variació de velocitat excessivament gran en magnitud o direcció, i provocant que la capa límit es separi lateralment. Això comporta la formació de remolins, que consumeix una quantitat important d'energia. Així doncs, la resistència total d'un buc estarà formada per la resistència de fricció més una altra component, que s'anomenarà resistència residual.

$$R_t = R_f + R_r$$

Equació 3: Resistència total d'una embarcació – Resistència Viscosa de Buques

Aquesta englobarà altres fenòmens, tals com la resistència per formació d'ones, o la resistència de pressió en diferents zones del vaixell.

El valor de la resistència residual pot trobar-se per mitjà de l'equació (4):

¹⁴ Zona on el moviment d'un fluid es veu pertorbat per la presència d'un sòlid amb el que està en contacte

$$\frac{Rr}{\Delta} = a_0 + \left(a_1 \cdot \frac{LCB}{Lwl} + a_2 \cdot Cp + a_3 \cdot \frac{\nabla c^{\frac{2}{3}}}{Aw} + a_4 \cdot \frac{Bwl}{Lwl} \right) \cdot \frac{\nabla c^{1/3}}{Lwl} + \left(a_5 \cdot \frac{\nabla c^{2/3}}{S} + a_6 \cdot \frac{LCB}{LCF} + a_7 \cdot \left(\frac{LCB}{Lwl} \right)^2 + a_8 \cdot Cp^2 \right) \cdot \frac{\nabla c^{1/3}}{Lwl}$$

Equació 4: Resistència residual – Resistencia Viscosa de Buques

On:

5. Rr : resistència residual del buc
6. ∇c : volum de desplaçament del buc
7. Lwl : eslora de flotació
8. Bwl : màniga màxima en la flotació
9. LCB : posició longitudinal del centre de carena des de la perpendicular de proa
10. LCF : posició longitudinal del centre de flotació des de la perpendicular de proa
11. Cp : coeficient prismàtic
12. Aw : àrea del pla de flotació a velocitat zero
13. S : superfície mullada del buc a velocitat zero

Els coeficients $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ i a_8 prenen diferents valors en funció del número de Froude (F_n) que s'estigui considerant i es troben tabulats.

Rugositat

Cap superfície és realment llisa i de ser-ho, a l'estar submergida en aigua es tornaria rugosa. La rugositat no canvia les característiques del flux viscos, dins d'uns certs límits; però sí té influència en la resistència total d'un vaixell. La rugositat afecta la magnitud del coeficient f (veure Equació (2)) per al càlcul de la resistència de fricció. A major rugositat, major valor pren f , i per tant la resistència de fricció augmenta proporcionalment.

Es poden establir dos tipus de rugositat:

1. El primer tipus, la rugositat estructural, es deu a aquella formada per elements del buc i muntatge d'aquests, tals com solapaments de planxes, juntes i imperfeccions estructurals.
2. El segon tipus és la que ve definida per la aspror de la superfície del buc. Aquesta es deu a imperfeccions locals i pot ser originada per diversos factors. Un exemple és la flora i fauna marina que s'adhereix a un buc.

2.4 Teoria del vaixell

Definicions bàsiques

Navegabilitat: característiques necessàries per a que una embarcació pugui navegar sense suposar un perill de pèrdua física de part o la totalitat d'aquest. Es considera navegable aquella embarcació que garanteix la seva pròpia:

- Flotabilitat: propietat de la embarcació per mantenir-se a flot pels seus propis mitjans, així com de garantir una reserva de flotabilitat adient per a la navegació en situacions d'escora o mal temps.
- Estabilitat: propietat que ha de tenir la embarcació de romandre en equilibri estable i de recuperar la seva posició de repós una vegada cedeix la força que el separa d'aquesta posició inicial.
- Estanqueitat: la embarcació es dissenyarà per tal de poder navegar en les pitjors condicions evitant que els espais interiors s'inundin, i condicionant de manera negativa les dues condicions exposades anteriorment.
- Maniobrabilitat: propietat que permet a una embarcació moure-s al rumb adequat i evolucionar d'acord al previst.
- Resistència estructural: el vaixell ha de mantenir la integritat i solidessa en qualsevol condició de navegació.

Carena: és la part del buc de la embarcació sota la línia de flotació, tenint com a cos irregular un volum (volum de carena) i una superfície (superfície de carena).

Obra viva: tota part de la embarcació sota la línia de flotació.

Obra morta: tota part de la embarcació per sobre de la línia de flotació.

Centre de carena: centre geomètric del volum sumergit i és on es considera que s'aplica la força de flotació.

Centre de flotació: centre geomètric del pla definit per la línia de flotació de la embarcació.

Coeficient de bloc: relació entre volum de carena i el paralelepípede circumscribit per a un calat determinat. Respón a la expressió (5):

$$Cb = \frac{Vc}{Lpp \cdot B \cdot T}$$

Equació 5: Coeficient de bloc – Manual de teoria del buque

Coeficient prismàtic: relació entre volum de carena per a un calat determinat i el prisma la secció transversal del qual correspon a la secció màxima del vaixell. Respón a la expressió (6):

$$Cp = \frac{Vc}{Sm \cdot Lpp}$$

Equació 6: Coeficient prismàtic - Manual de teoria del buque

Coeficient de quaderna mestra: relació entre superfície de la quaderna mestra i el rectangle circumscrit per a un calat determinat. Respón a la expressió (7):

$$C_m = \frac{S_m}{T \cdot B}$$

Equació 7: Coeficient de quaderna mestra - *Manual de teoria del buque*

Coeficient d'afinament de les línies d'aigua: relació entre l'àrea d'una superfície de flotació i el rectangle circumscrit a la mateixa. Respón a la expressió:

$$C_s = \frac{S_f}{L \cdot B}$$

Equació 8: Coeficient d'afinament de les línies d'aigua - *Manual de teoria del buque*

Francbord: distància vertical entre la línia de flotació i la coberta principal. Afecta a la reserva de flotació, siguent aquesta proporcional a aquest valor.

Reserva de flotació: volum d'una embarcació per sobre de la línia de flotació totalment estanc a l'aigua.

Centre de gravetat: punt d'aplicació del conjunt de pesos de tota la embarcació. Existèixen tres coordenades del centre de gravetat:

- VCG: posició vertical.
- TCG: posició transversal.
- LCG: posició longitudinal.

Metacentre: punt de tall de dos forces de flotació aplicats a dos centres de carena corresponent per a dos angles d'escora pròxims. Es considera també el centre de rotació del moviment d'escora de la embarcació en angles d'escora petits.

Braç adreçant: o GZ, desalineament mesurat horitzontalment entre el centre de gravetat i l'eix metacentre-centre de carena per a un determinat braç d'escora.

Equilibri del flotador parcialment sumergit: estabilitat

L'estabilitat es la tendència que té un flotador que es troba parcialment sumergit a conservar la seva posició inicial de repòs després de l'actuació d'una força externa que l'allunya de la mateixa.

En els casos de les embarcacions, podem diferenciar diferents tipus d'estabilitat:

- Estabilitat transversal estàtica: dins de la qual es diferencien dos tipus: la inicial, considerada entre angles d'escora de 0 i 10 graus; i la de grans inclinacions, considerada a partir d'angles d'escora superiors a 10 graus. En ambdós casos es produeixen variacions en la escora.
- Estabilitat transversal dinàmica: moviment de balanceig d'una embarcació quan aquesta es troba en moviment.
- Estabilitat longitudinal estàtica inicial: canvis de seient en condicions estàtiques.
- Estabilitat longitudinal dinàmica: la que correspon al moviment de capcineig de la embarcació quan aquesta es troba en moviment.

Si existeix un equilibri, totes les forces que actuen sobre el cos es troben anul·lades. En condició de repós, es compleix el principi d'Arquímedes: la embarcació experimenta una força ascendent de flotació igual al pes del volum d'aigua que desplaça. A més, ambdues forces s'apliquen sobre la mateixa vertical. És quan les dues forces (sustentació i pes) no es troben longitudinalment alineades quan apareixen angles d'assentament.

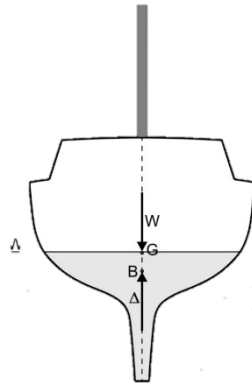


Figura 16: Forces aplicades en una embarcació sense escora - *Diseño de veleros para el mal tiempo*

Equilibri estable

Quan sobre una embarcació actua una força externa (la incidència del vent sobre la superfície vèlica, per exemple), aquesta escorarà. Adopta per tant una nova posició, amb un angle d'inclinació determinat. El centre de gravetat no es desplaça, ja que la distribució de pesos interna no ha variat. No obstant, si que ho fa el centre de carena, ja que varia la forma del volum submergit; i per tant el centre de volum, punt d'aplicació de la força de flotació, també es mou, ocupant la posició del centre de volum de la nova forma de la carena. Al no estar ja les forces corresponents al desplaçament i a la flotació actuant sobre la mateixa vertical i estar separades una distància entre elles (Eix GZ), ambdues forces generen un moment anomenat parell d'estabilitat.

L'escora produïda per aquesta força anirà augmentant fins que el parell d'estabilitat compensi el moment produït per la força que provoca la escora del vaixell. En aquell instant en el que el parell d'estabilitat es igual al parell escorant, el vaixell queda en equilibri en la seva nova posició.

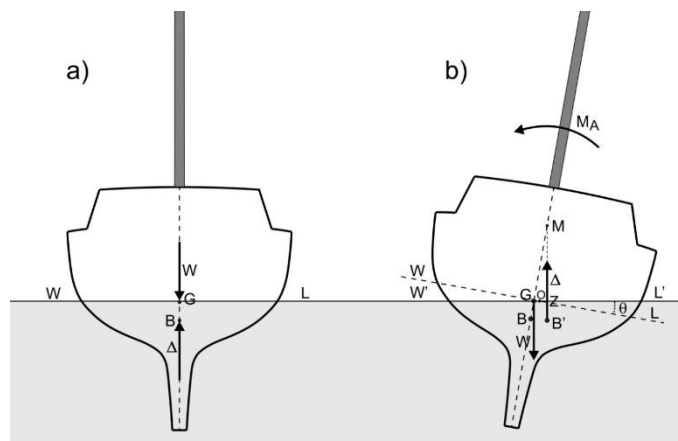


Figura 17: Forces sobre una embarcació amb escora i GZ - *Diseño de veleros para el mal tiempo*

Quan la força que provoca la escora del vaixell desapareix, el paell d'estabilitat tendeix a portar la embarcació a la seva posició inicial "dreta". És per això que s'anomena moment adreçant. Es conclou per tant que una embarcació es troba en equilibri estable quan, després d'aplicar una força que fa variar la seva posició inicial, torna a aquesta per efecte del parell d'adreçament. Per a que això passi:

- GZ ha de ser positiu.
- El metacentre vertical haurà de trobar-se per sobre de la posició vertical del centre de gravetat.

La altura metacèntrica (GM) determinarà, a més, la rapidesa amb la que la embarcació recupera la posició inicial, ja que a major GM , major GZ i per tant major parell d'estabilitat. Una embarcació amb un valor de GM alt, adreçarà de manera més ràpida i brusca que una de GM baix.

Equilibri inestable

Una embarcació en condicions normals, per l'acció de forces externes, pot passar d'un estat d'equilibri estable a indiferent i inestable, malgrat el balanç d'aquesta sigui l'adient. Això té lloc quan la posició vertical del centre de gravetat es troba per sobre del centre de carena. En aquesta situació, GZ és negatiu, va en direcció contrària al sentit de la escora, i per tant el moment generat per les forces de flotació i el desplaçament de la embarcació no contribueixen a que el vaixell recuperi la seva posició inicial. De fet, en casos de equilibri inestable, s'obté el resultat contrari: el moment generat contribueix a que la embarcació segueixi escorant.

En embarcacions a vela, la presència del bulb provoca que, encara en situacions de "quilla al sol" i de grans angles d'escora, el centre de gravetat es trobi per sota del metacentre i per tant el moment resultant de la força de flotació i del desplaçament permetrà l'adreçat de la embarcació fins i tot en angles d'escora de 180 graus.

Capítol 3. Procés de disseny

En el present capítol es defineix l'objectiu principal d'aquesta projecte i es descriuen tots els processos i sots-processos de disseny de tots els components que conformaran el buc, de tots els apèndixs que per normativa i/o necessitat equiparà la embarcació i també el posicionament de tots els elements per a formar el disseny final.

Finalment, i per finalitzar el procés de disseny s'obtenen els valors d'arrossegament i d'estabilitat que es preveuen per a la embarcació completa així com la posició final del centre de gravetat. Es pot resumir d'acord al diagrama de la figura (18).

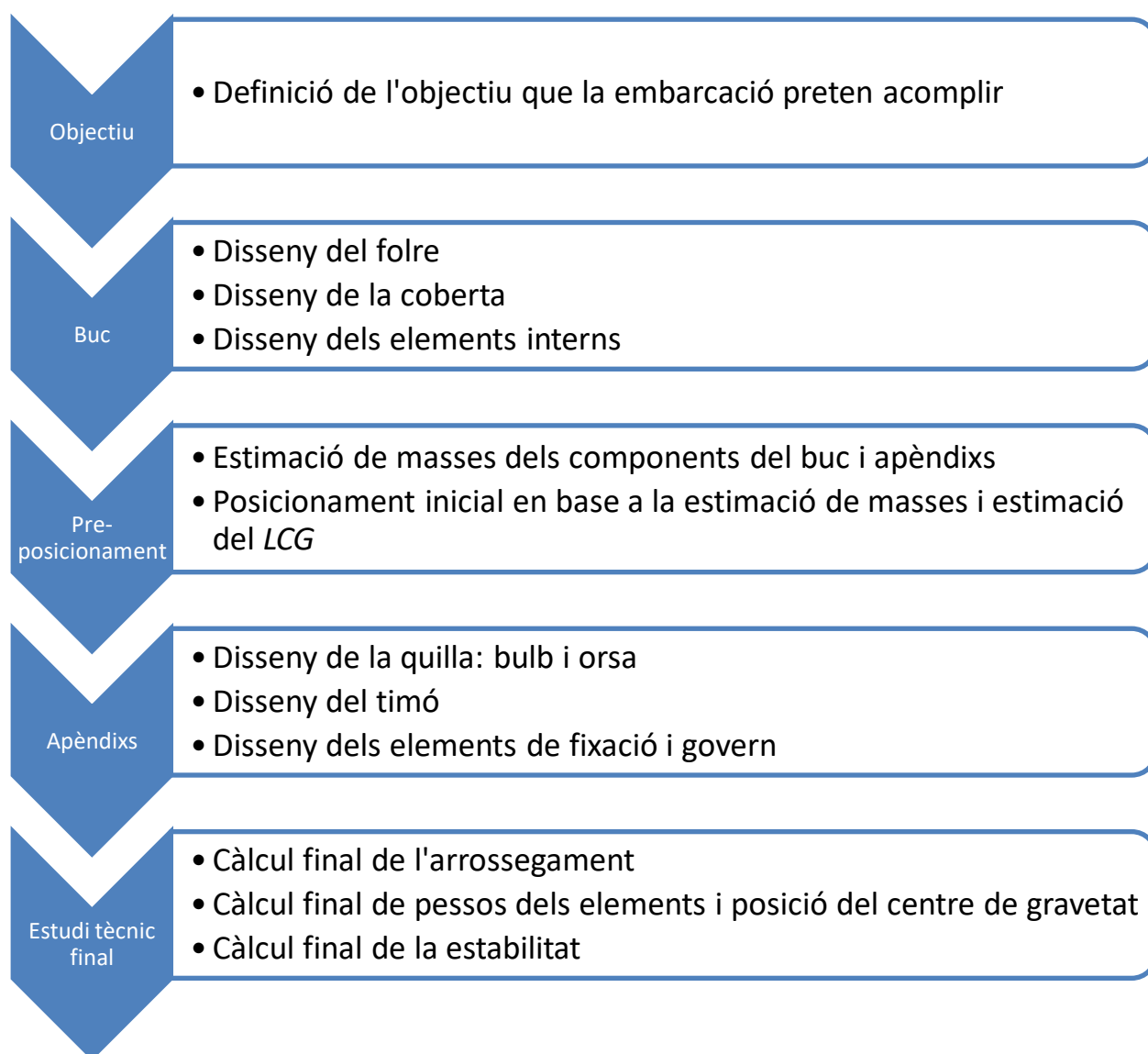


Figura 18: Diagrama de processos i sots-processos del disseny de la embarcació

3.1 Definició de l'objectiu de la embarcació

Per a poder conferir un disseny, entès com a una solució a una necessitat particular, aquesta ha de ser identificada. Es pretén en aquest projecte la obtenció d'una embarcació que compleixi amb els requisits de la normativa *IOM* per tal de poder obtenir un certificat de classe i poder competir en regates d'aquesta categoria. A la vegada, i debut a la naturalesa de la classe *IOM* com a categoria de vela esportiva, haurà de ser un vaixell prou optimitzat per a que sigui competitiu en regates de la categoria.

L'assoliment d'aquest objectiu anirà lligat a assolir dos sots-objectius: el primer d'ells, pertinent a la fase de disseny; i el segon, corresponent a una futura fase de construcció. La existència d'una futura fase que tindrà com a objectiu traslladar el disseny a una realitat afectarà a aquest, forçant-lo a ser realitzable.

Es conclou, per tant, que l'objectiu de la fase de disseny de la embarcació serà:

“La obtenció del disseny, factible de construir i degudament representat gràficament; d'una embarcació formada per el conjunt de: buc, apèndixs, elements estructurals i maquinaria de govern; sempre complint amb les regulacions estipulades en la normativa de la classe IOM, amb la finalitat de competir en regates de la categoria; minimitzant l'arrossegament d'aquesta i mantenint la màxima condició d'estabilitat i navegabilitat possibles per a possibilitar la obtenció del millor resultat possible.”

3.2. Disseny del buc

En aquest apartat es descriuen tots els sots-processos per al disseny de tots els elements que conformaran el buc de la embarcació, a diferenciar entre:

1. Folre
2. Coberta (o cobertes si s'escau)
3. Elements interns (cobertes internes i/o mampares)

3.2.1. Normativa aplicable

La normativa aplicable al procés de disseny i construcció del buc es pot consultar al apartat 2.1.3. *Secció C: Condicions de Regata* i 2.1.4. *Secció D: Buc*.

3.2.2. Disseny de les formes del folre

La forma del folre serà aquella que permeti complir amb les dimensions d'eslora i calat, i requisits de desplaçament mínim exigit a la normativa de la classe, conferint al vaixell les condicions de navegabilitat i resistència indispensables per a la correcta operació a la vegada de que sigui competitiva en condicions de regata, deixant suficient espai interior per a la instal·lació de tots els elements interns, i serà factible de realitzar.

Tenint en compte que el buc conformarà la major part d'obra viva, la resistència a l'avanç del folre constituirà una part substancial de l'arrossegament total de la embarcació. Els coeficients de forma del mateix condicionaran especialment aquest element. A més, la forma del volum de carena afectarà a la estabilitat de la embarcació. No obstant, en vaixells a vela equipats amb quilla contrapesada, les formes de la carena no afecten de manera rellevant a la estabilitat estàtica per la existència del bulb, que afecta en gran part a l'altura del centre de gravetat.

Les formes del buc es dissenyaran fent servir la extensió *Modeler Advance* del software *Maxsurf*, de *Bentley*. Es validaran fent servir les extensions *Resistance* i *Stability Enterprise* del mateix software.

3.2.2.1. Metodologia de disseny per al folre del buc

Per al disseny de les formes del folre es procedeix de la manera següent:

1. Definició del conjunt de característiques de disseny que afectaran a la forma del folre.
2. Obtenció un disseny base a partir d'aquestes característiques.
3. Obtenció de les dades d'arrossegament i estabilitat del disseny base.
4. Elaboració d'hipòtesis de millora.
5. Modificació de disseny base i obtenció d'una proposta de disseny alternativa.
6. Obtenció de les dades d'arrossegament i estabilitat de la nova proposta.
7. Validació tècnica: comparació de dades.
8. Adopció de la proposta alternativa com a nou disseny base en substitució del previ o descart.

Els punts 4, 5, 6, 7 i 8 formen la espiral de disseny per a les formes del folre, i s'iterarà tantes vegades com sigui pertinent.

Característiques de disseny

Les restriccions de la classe *IOM* son les característiques de disseny de major influència sobre el disseny de les formes del folre. Les limitacions a tenir en compte, s'especifiquen a l'apartat 3.2.1. *Normativa aplicable*.

El pes de la embarcació no depèn únicament del buc, però sí que determinarà en la pràctica totalitat el desplaçament d'aquest: com a mínim haurà de ser de quatre-mil (4000) grams. I en aquestes condicions de desplaçament la eslora i el calat seran no superiors a mil (1000) i seixanta (60) mil·límetres, respectivament. En certa manera això ens limita també la màniga mínima que haurà de tenir la embarcació. Aquesta dimensió es la que té més influència a la resistència a l'avanç, i no la limita la normativa de la classe.

Arrossegament com a característica de disseny crítica

La o les característiques crítiques de disseny son aquelles que més pes tenen en el criteri d'acceptació d'un disseny. Es tracta de factors que poden ser de gran influència en la compleció de l'objectiu final, caldrà tenir-les en gran consideració durant el procés de disseny i en gran part determinaran si una proposta millora o no les prestacions d'un disseny previ.

Un disseny complirà amb les restriccions de normativa; o no ho faran. Seran factibles de construir o no ho seran. Per tant les dimensions del folre per sí soles no suposen un criteri comparatiu que permeti determinar si una proposta és millor que un disseny previ anterior o no. És necessari, per tant; trobar una altra característica que sí pugui ser més òptima en un disseny o en un altre i en base a la qual s'elabori un criteri d'acceptació o descart. Aquesta característica extra és la velocitat màxima de la embarcació. A part de la obtenció d'un certificat per a participar en regates de classe *IOM*, possible només si es compleixen totes les restriccions establertes en la normativa; l'objectiu també és la obtenció d'un disseny d'embarcació veloç i mariner, que permeti obtenir bons resultats en qualsevol regata que participi.

La velocitat d'una embarcació a vela està estretament relacionada amb la velocitat del vent, la resistència a l'avanç i la superfície vèlica. La velocitat del vent serà un paràmetre variable però que igual per a tots els participants d'una regata, per tant no suposarà un valor fent ús del qual es pugui obtenir un avantatge. La superfície vèlica la limita la normativa, i presumiblement qualsevol participant optarà per les màximes dimensions permeses o que la climatologia permeti (la normativa permet la instal·lació de tres jocs de veles, de mides diferents; per a adaptar-se a la velocitat variable del vent).

No està tant limitada la forma del buc, amb infinites possibilitats dins del compliment de la norma. És convertirà per tant en l'únic factor en el qual es pugui influir per tal de minimitzar l'arrossegament. Per tant, es considera que un model de formes està més optimitzat que el disseny base del qual parteix quan la resistència a l'avanç del primer sigui inferior a la del segon.

Altres característiques de disseny

Potser l'arrossegament és la característica que més influència pot semblar que té a l'hora de maximitzar la velocitat d'aquesta; però de res serviria un buc molt veloç que no sigui estable, maniobrable, navegable o cap de les anteriors. Buscar un compromís entre el buc més eficient i el més òptim per a la estabilitat, per a la navegabilitat, per al repartiment de pesos, per a la instal·lació del equip de govern, o per la

operació final és, per tant, necessari. Si bé la característica més important per a validar una proposta de disseny o descartar-la serà el valor de la resistència a l'avanç; pot donar-se el cas en que no existeixi variació (poc probable) o bé que la variació no sigui substancial i es produeixi un greu empitjorament en la estabilitat, o altres paràmetres hidroestàtics que dificultin futurs sots-processos. En aquest cas, aquestes altres característiques podran constituir un criteri d'acceptació alternatiu i servir per a decidir quan una nova proposta de disseny millora la base de la que parteix.

Aquestes altres característiques són les següents (per ordre d'importància):

1. Estabilitat.
2. Posició longitudinal del centre de carena.

La estabilitat i LCB^{15} jugaran un paper també important i són elements que cal tenir en compte. Del primer depèn la capacitat de la embarcació per a recuperar la verticalitat, i mantenir la màxima superfície vèlica projectada en perpendicular a la direcció del vent, obtenint així més potència provenint d'aquest. No és un factor definitiu ni decisiu, ja que s'afegirà a la equació una massa considerable ubicada a la part inferior de la embarcació que augmentarà aquesta característica, però sí important. És per aquest motiu que s'establirà un rang de valors per a LCB , de -20 i 20 mil·límetres com a característica de disseny addicional.

El segon element tindrà gran importància en el repartiment de pesos. Una posició no satisfactòria podria dificultar en gran part l'equilibrat de la embarcació i fins i tot provocar l'aparició d'angles d'assentament a proa, compromentent l'arrossegament.

Malgrat no suposarà un criteri comparatiu, també s'establirà un valor mínim (70 mil·límetres) i màxim (100 mil·límetres) per al francbord, amb la finalitat de mantenir la reserva de flotació dins d'uns valors segurs.

Modelat de les formes del folre

El modelat de les formes del folre extern del buc es realitza fent ús del *software Maxsurf Modeler Advance*, que permet la creació de les formes d'un buc a partir de l'ús de *NURBS*¹⁶, un model matemàtic molt emprat en la representació gràfica per generar i representar corbes i superfícies. A partir d'una sèrie de punts de control que permeten modificar certes corbes que corresponen a les principals a tenir en compte en un disseny naval (línies d'aigua o seccions verticals, seccions transversals, seccions longitudinals), es permet modificar la forma del folre i també trobar de manera senzilla tot un conjunt de característiques hidroestàtiques per a una forma concreta.

Cada disseny es guarda com a un arxiu independent, permetent la comparació d'aquests en qualsevol instant del procés. Qualsevol modificació per a la obtenció d'una proposta alternativa s'introdueix sobre el model acceptat com a base més recentment.

Validació tècnica i criteri comparatiu

¹⁵ de l'anglès: *Longitudinal Centre of Buoyancy*

¹⁶ de l'anglès: *Non-Uniform Rational B-Spline*

La milloria o empitjorament d'una nova proposta de disseny respecte al disseny base del què s'obté queda determinada per el criteri descrit a continuació.

És indispensable que qualsevol nova proposta de disseny obtinguda d'aquesta fase de disseny compleixi amb la normativa de la classe *IOM*. Les limitacions de la normativa signifiquen el primer requisit per a l'acceptació d'un model com a vàlid. Per tant no es conclou el disseny de cap proposta fins que s'assoleixi el compliment de totes les restriccions de classe. També s'hauran de complir les restriccions de francbord i *LCB* addicionals.

Només si una proposta de disseny que compleix la normativa *IOM* podrà ser objecte d'estudi de la resistència a l'avanç o arrossegament. Aquestes magnituds permetran obtenir un primer criteri comparatiu entre una proposta de disseny nova i un disseny base, d'existir. El disseny més òptim serà el que disposi de l'arrossegament més baix, i serà adoptat com a disseny base per a futures iteracions. Per contra, serà descartat qualsevol proposta l'arrossegament del qual sigui superior al del disseny del qual parteix.

No obstant, si la millora en la resistència a l'avanç no és prou clara i cal un segon criteri comparatiu, es considerarà l'estabilitat. El disseny més òptim serà aquell que disposi d'un braç adreçant (o *GZ*) més elevat. En cas de discrepància, prevaldrà l'arrossegament per sobre de la estabilitat o es considerarà un nou criteri si escau.

Si els dos criteris anteriorment descrits no fossin suficients per a la presa de decisions, es comparen les dades hidrostàtiques. El disseny més òptim serà aquell les dades hidrostàtiques (especialment *LCB*) del qual siguin les més afavoridores d'una distribució de masses el més centrada possible respecte del buc.

El criteri de decisió per a definir si una proposta alternativa millora les prestacions del disseny base del qual procedeix es pot resumir tal com segueix:

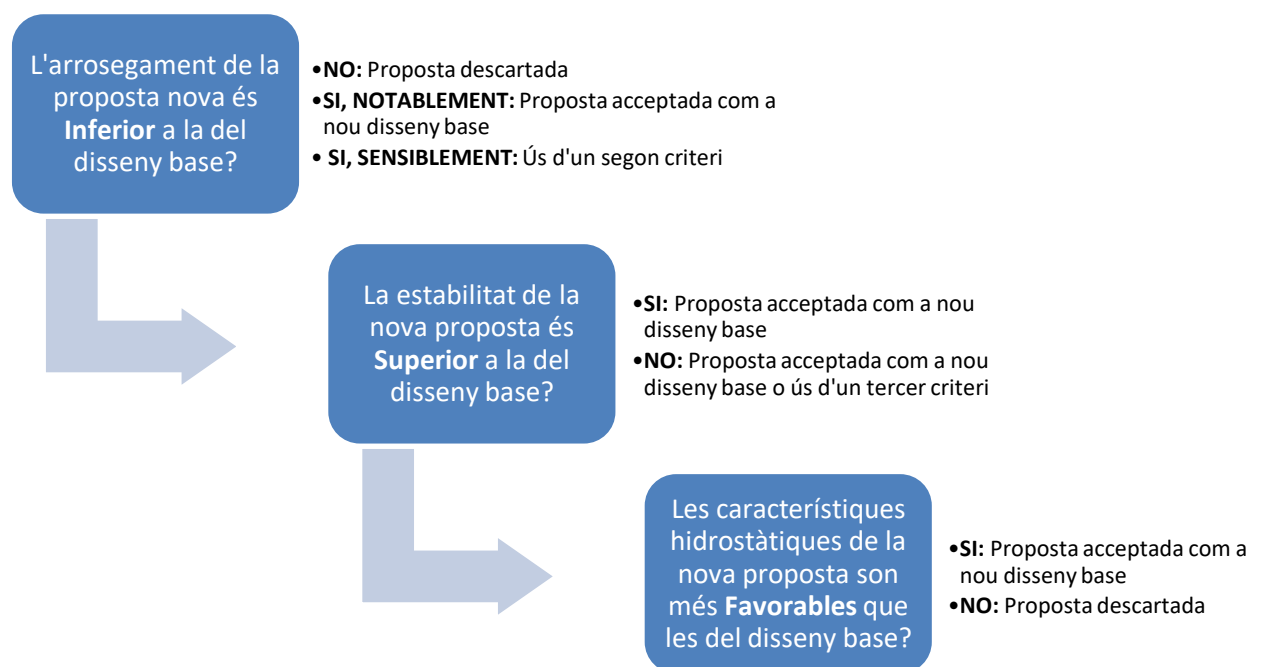


Figura 19: Esquema del criteri d'acceptació de les propostes de disseny

Sense cap preàmbul, és també motiu de descart qualsevol disseny que no pugui ser fabricat.

Maxsurf Resistance

Per a obtenir les dades de resistència a l'avanç, s'utilitza la extensió *Resistance*, del *software Maxsurf*. Aquesta extensió permet el càlcul ràpid dels valors de resistència en funció de la velocitat a partir de diferents processos de càlculs de resistència a l'avanç predeterminats. Es fan servir els mètodes de *Holtrop* i *Slender Body* per a realitzar dos càlculs de resistència. Els valors obtinguts seran semblants però no idèntics. Això permetrà una valoració més precisa de l'arrossegament. Els valors obtinguts a partir de la aplicació de cada mètode s'exporten a una fulla de càlcul per a obtenir les corbes de resistència (resistència a l'avançament en funció de la velocitat).

Maxsurf Stability Enterprise

La extensió *Stability Enterprise* del *software Maxsurf* permetrà la obtenció de les dades a tenir en compte per a valorar l'estabilitat. Aquesta extensió permet la simulació de diferents graus d'escora sobre la embarcació i obtenir la variació dels diferents paràmetres hidroestàtics en funció de l'angle d'escora en el que ens trobem. També permet trobar GZ, o el braç que genera el moment de drissa. Aquest element serà el que ens permetrà avaluar posteriorment si la estabilitat d'una proposta determinada és superior a la del disseny base, o per contra empitjora.

Després de realitzar l'estudi, els resultats s'exporten a una fulla *excel* per a la seva posterior edició i ser analitzats.

3.2.2.2. Procés de disseny de les formes del folre

En aquest apartat s'exposen les diferents propostes obtingudes durant la fase de disseny, així com les dades hidrostàtiques, els resultats de l'anàlisi de resistència i els resultats dels càlculs d'estabilitat de cada disseny. Es fa també una justificació del procés de disseny i del procés de validació tècnica seguits per a cada proposta. Els models obtinguts s'anomenaran fent servir les sigles *MS-IOM*, seguit d'un nombre romà correlatiu. Les sigles *MS* corresponen al nom de la embarcació: *Moeder See*¹⁷

Proposta de disseny del folre MS-IOM I

Aquest es el primer folre dissenyat a partir d'una forma predeterminada del *software* emprat anomenada *yacht*¹⁸. Al ser el primer disseny no existeix un altre a fer servir com a base. Aquesta preforma de *Maxsurf* és la emprada per al disseny de bucs de velers.

A l'hora de modelar les formes del folre, es fa èmfasi en complir amb les restriccions de classe, mantenint el centre de carena el més avançat possible, i un francbord adequat per a garantir-ne la reserva de flotació.

¹⁷ En *Afrikaans*: Mare mar

¹⁸ En anglès, iot. Paraula emprada sovint per a referir-se a un veler

Es busca maximitzar la eslora i el calat, deixant un petit marge de seguretat sobre el màxim de les regles de classe (60 mil·límetres per al calat del buc) i minimitzar la màniga.

Es dota a les formes d'unes línies contínues i progressives, per evitar que es produeixi el fenomen de despreniment de la capa límit i es formin remolins. Doncs la velocitat màxima es reduiria per augmentar la resistència a l'avanç.

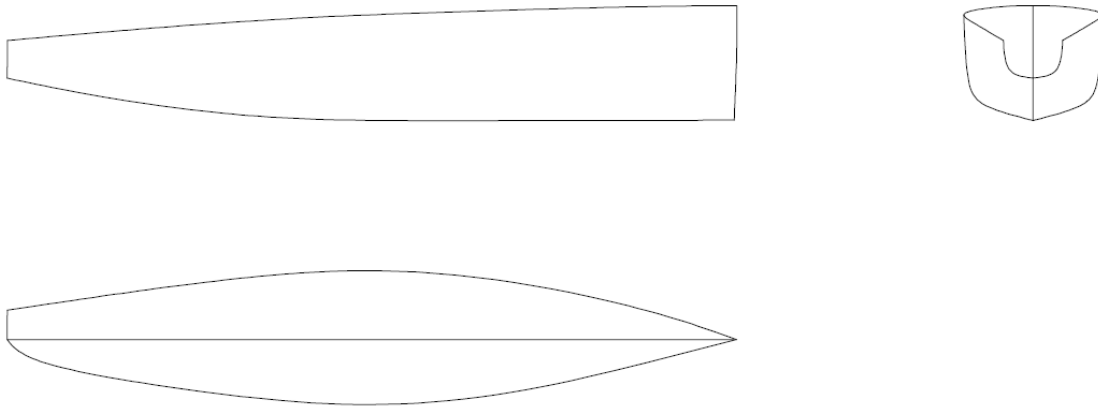


Figura 20: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta *MS-IOM I*

En aquest primer disseny, la roda¹⁹ s'estén fins al punt de calat màxim. Es troba immersa parcialment. A partir de la quaderna mestra es dibuixa una corba ascendent que permet tenir el codast pràcticament sencer per sobre de la línia de flotació.

¹⁹ Extensió de la quilla a proa d'una embarcació

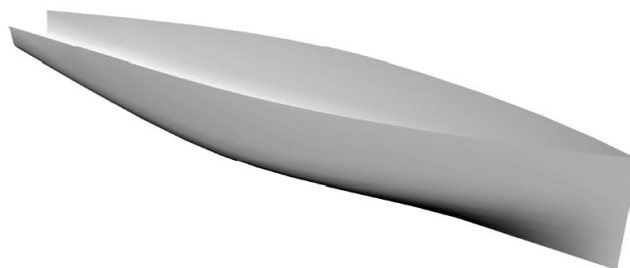


Figura 21: Proposta MS-IOM I renderitzada

Les dades hidrostàtiques, de resistència a l'avanç i d'estabilitat per a aquesta proposta de folre es poden consultar a l'annex 1.

Validació Tècnica de la proposta MS-IOM I

Al tractar-se del primer model dissenyat durant aquesta fase, no es disposa de cap disseny previ amb el qual comparar-lo

És, per tant; que el disseny serà vàlid si:

1. Compleix amb les dimensions de classe establertes en l'apartat 2.2.3. *Secció C: Condicions de regata.*
2. Compleix amb les restriccions addicionals de francbord i LCB especificades en l'apartat 3.2.2.1 *Metodologia de disseny.*
3. Compleix amb la condició de ser factible a nivell constructiu.

	Màxim	Mínim	MS-IOM I	
Eslora	1000	n/a	999	mm
Calat del buc	60	n/a	57,6	mm
Desplaçament	n/a	4000	4006	g
Francbord a LOA/2	100	70	85,7	mm
Posició LCB a q. mestra	20	-20	11,2	mm (+ a proa)

Taula 4: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta MS-IOM I per a cada característica restringida

Es pot veure a la taula (4) que totes les dimensions que estan limitades per la norma, així com totes les restriccions addicionals establertes durant la definició de les entrades de disseny es troben dins dels intervals permesos. En el disseny, a més, no s'aprecien formes que no siguin realitzables; o que puguin complicar la fase de construcció posterior a la obtenció d'un disseny final. Pot ser considerat com factible de realitzar.

Per tant, la proposta MS-IOM I queda acceptada com a disseny vàlid. Servirà de base per a una nova volta a la espiral de disseny.

Proposta de disseny del folre MS-IOM II

Es tracta de la segona proposta de disseny obtinguda durant la fas, que pren com a base el disseny *MS-IOM I*, prèviament acceptat com a vàlid. S'obre en un nou arxiu de *Maxsurf Modeler Advance* i es procedeix a realitzar els canvis pertinents seguint les següents hipòtesis de millora per millorar la resistència:

1. Elevar la base de la roda.
2. Afilar la proa.
3. Elevar l'inici del codast²⁰.

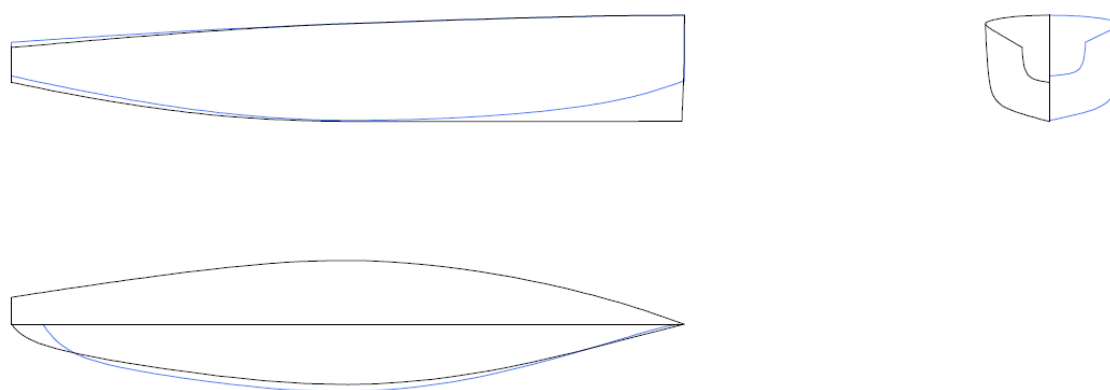


Figura 22: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta MS-IOM II (en blau) comparada amb el disseny base MS-IOM I (en negre)

En la nova proposta la base de la roda s'eleva fins a començar just en la intersecció amb la línia de flotació. D'aquesta manera s'obté una secció longitudinal de formes més progressives que busca evitar la formació de remolins. Debut a aquesta elevació de la roda i l'arrodoniment de la proa del buc, es perd un volum submergit que provocarà que la posició longitudinal del centre de carena s'enredereixi considerablement. Amb la finalitat de mitigar aquesta conseqüència i buscant mantenir *LCB* dins de l'interval considerat en la fase de determinació de les entrades de disseny, també s'eleva lleugerament la part inferior del codast, quedant en aquest nou disseny per sobre de la línia de flotació. També s'assumeix que aquesta mesura contribuirà a la no-formació de remolins.

Això genera una reducció en el volum submergit respecte al disseny base que comporta pèrdua en el desplaçament de la embarcació. S'eixampla lleugerament la màniga de la embarcació en la línia de flotació a partir de aproximadament $0.15 LOA$ ²¹ i es manté aquest eixamplament fins a $0.90 LOA$. En conjunt amb

²⁰ Prolongació a popa de la quilla

²¹ De l'anglès *Length Over All*, eslora total.

la re-definició dels pantocs es permet mitigar la pèrdua produïda per el re-disseny de les seccions de proa i pota. Per acabar de donar a la proposta una forma longitudinal més suavitzada, i gràcies a que l'augment de màniga ho permet, el calat perd valor.

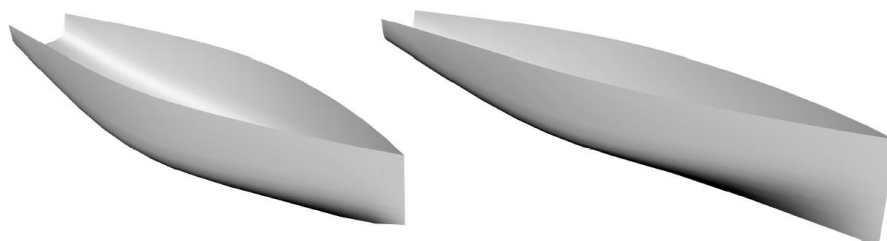


Figura 23: A la esquerra: renderitzat de la proposta *MS-IOM II*, a la dreta renderitzat del disseny base

Validació Tècnica de la proposta MS-IOM II

El primer pas de la validació tècnica sempre serà comprovar que les limitacions dimensionals requerides per la classe es compleixen, i a la vegada; que es compleixen les condicions de *LCB* i francbord establertes.

	Màxim	Mínim	MS-IOM II	
Eslora	1000	n/a	999	mm
Calat del buc	60	n/a	55.80	mm
Desplaçament	n/a	4000	4000	g
Francbord a LOA/2	100	70	85,7	mm
Posició LCB a q. mestra	20	-20	-0,5	mm (+ a proa)

Taula 5: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta MS-IOM I per a cada característica restringida

Es pot veure en la taula (5) que es compleixen també les restriccions de norma així com les addicionals interposades durant la definició dels paràmetres de disseny. Per tant, a nivell de dimensions; seria un disseny vàlid que compliria el principal objectiu del projecte. Tampoc disposa de formes que impossibilitin la realització.

En aquest cas sí que existeix un model previ amb el qual comparar si la característica millora o empitjora amb tots els canvis incorporats. Es comparen els dos estudis de resistència, comparant la dels dos models en tres intervals de velocitat diferents: de zero (0) a cinc (5), de cinc (5) a deu (10) i de deu (10) a quinze (15) nusos. Es prendrà el valor mig entre els dos mètodes de càlcul de la resistència que s'han emprat (*Holtrop* i *Slender Body*) a l'hora de comparar resultats.

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM II		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
1,5	0,38	0,37	0,375	0,37	0,4	0,385
2	0,74	0,73	0,735	0,77	1,06	0,915
2,5	1,59	2,52	2,055	1,68	3,57	2,625
3	2,38	3,93	3,155	2,32	5,06	3,69
3,5	3,17	4,75	3,96	2,98	5,88	4,43
4	3,85	5,41	4,63	3,63	6,54	5,085
4,5	4,58	6,05	5,315	4,35	7,18	5,765
5	5,39	6,71	6,05	5,14	7,83	6,485

Taula 6: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM II* per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM II		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
5,5	6,27	7,39	6,83	6	8,48	7,24
6	7,22	8,07	7,645	6,93	9,13	8,03
6,5	8,23	8,77	8,5	7,9	9,79	8,845
7	9,3	9,48	9,39	8,93	10,46	9,695
7,5	10,41	10,22	10,315	9,99	11,15	10,57
8	11,56	10,97	11,265	11,1	11,85	11,475
8,5	12,76	11,74	12,25	12,24	12,57	12,405
9	13,99	12,54	13,265	13,42	13,32	13,37
9,5	15,26	13,37	14,315	14,64	14,1	14,37
10	16,57	14,23	15,4	15,89	14,9	15,395

Taula 7: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM II* per a velocitats entre 5 i 10 nusos

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM II		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
10,5	17,91	15,11	16,51	17,17	15,74	16,455
11	19,29	16,04	17,665	18,49	16,61	17,55
11,5	20,7	16,99	18,845	19,84	17,51	18,675
12	22,14	17,98	20,06	21,22	18,45	19,835
12,5	23,62	19,01	21,315	22,63	19,43	21,03
13	25,13	20,07	22,6	24,08	20,44	22,26
13,5	26,67	21,17	23,92	25,56	21,49	23,525
14	28,25	22,31	25,28	27,08	22,58	24,83
14,5	29,86	23,49	26,675	28,62	23,7	26,16
15	31,5	24,7	28,1	30,2	24,86	27,53

Taula 8: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM II* per a velocitats entre 10 i 15 nusos

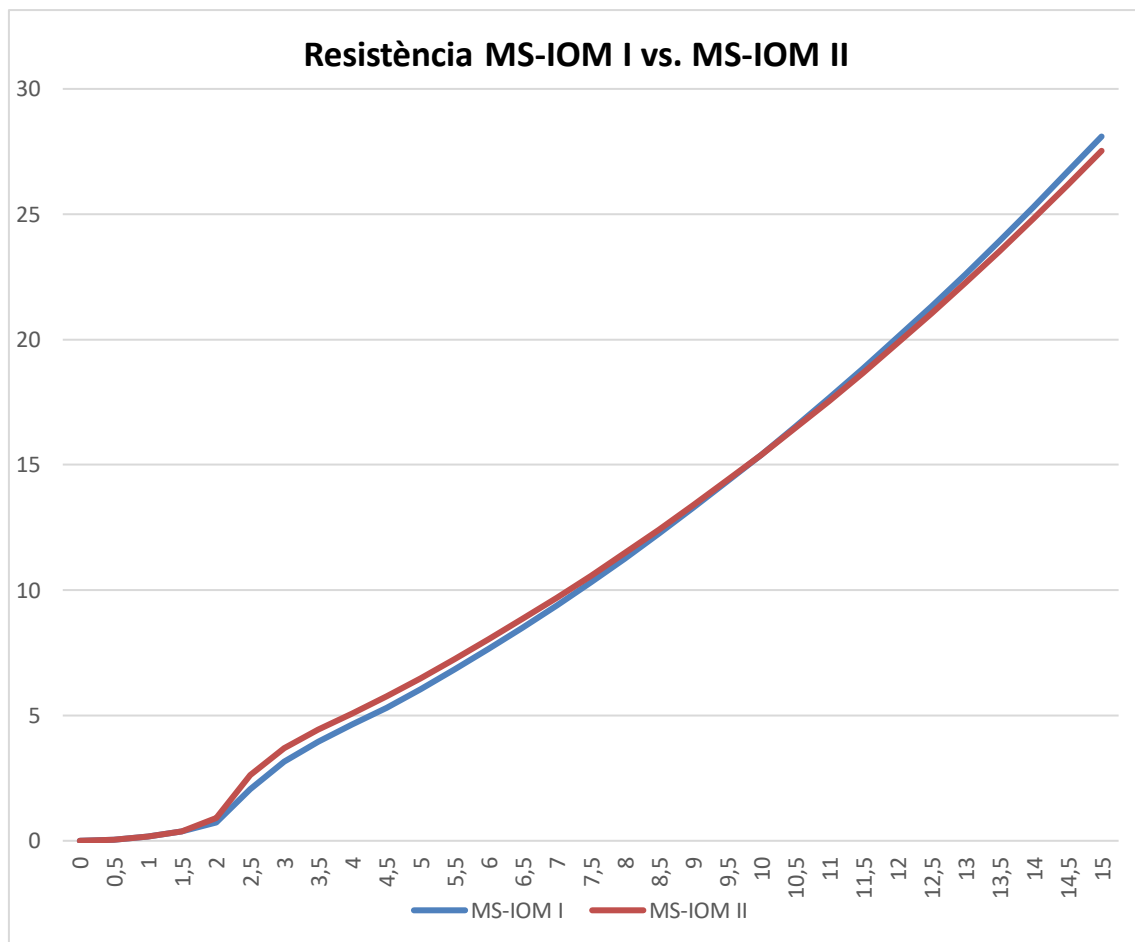


Figura 24: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta *MS-IOM I*, en blau; amb la alternativa *MS-IOM II*, en vermell

En condicions de velocitats no superiors a cinc (5) nusos, la resistència de la proposta *MS-IOM II* és més alta que en el cas del disseny *MS-IOM I* pres com a punt de partida per a la introducció de les modificacions. En l'interval que va dels cinc (5) als deu (10) nusos, la diferencia entre les resistències de les dues propostes comença a disminuir progressivament, fins al punt de pràcticament igualar-se just a la velocitat de deu (10) nusos. En la majoria d'aquest tram de velocitats, el disseny *MS-IOM II* segueix tenint una resistència a l'avanç superior a la del disseny base. A partir de (10) nusos, la resistència del model *MS-IOM II* aconsegueix millorar les del disseny previ. Tenint en compte que en dos tercers parts del rang de velocitats per al qual s'ha realitzat la comparació la resistència de la proposta *MS-IOM II* és superior a la del disseny base, s'opta per descartar aquesta evolució. S'iniciarà un nou procés partint de nou amb el disseny *MS-IOM I* com a base.

Ja que la característica crítica de disseny no es millora en la modificació més recent, no cal comparar més valors. No obstant, sí que es pot prendre com a conclusió vàlida el fet de que les hipòtesis, i les modificacions basades en aquestes han acabat funcionant, si bé no en tot el rang de velocitats.

Proposta de disseny del folre *MS-IOM III*

Com s'ha descartat el model immediatament anterior per no millorar la resistència a l'avanç del disseny previ a aquest; es pren la mateixa base que en la volta anterior, que és el disseny *MS-IOM I*. Aquesta vegada s'introduiran modificacions basades en les següents hipòtesis per a la reducció de l'arrossegament:

- Elevar la base de la roda.
- Afilar la proa.
- Elevar l'inici del codast sensiblement per sobre de la línia d'aigua.
- Distribuir l'increment de màniga al llarg de la eslora a popa de la quaderna mestra.

Es torna a emprar *Maxsurf Modeler Advance*, de nou creant un arxiu nou prenent com a base el model *MS-IOM I*.

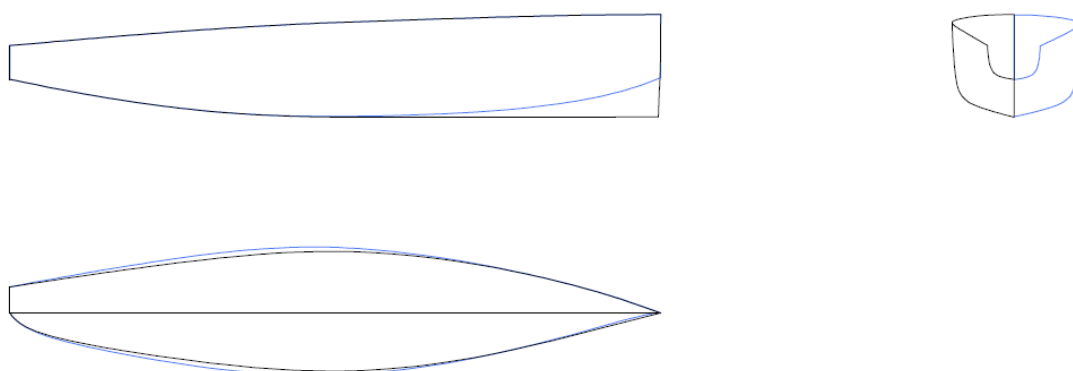


Figura 25: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta *MS-IOM III* (en blau) comparada amb el disseny base *MS-IOM I* (en negre)

Novament debut a la supressió d'un volum submergit considerable, el re-disseny comporta augmentar la màniga. No obstant, en aquest cas s'opta per dotar la proa d'unes formes més afilades (menor angle respecte la línia de crugia) i que l'augment de la màniga s'iniciï en una posició més enrederida. Aproximadament des de 0.45 LOA i cap a popa. En aquest nou model, no s'eleva tant la base del codast. Això implica una menor pèrdua de volum submergit i per tant la màniga no ha d'augmentar tant com en la proposta *MS-IOM II*.

MS-IOM III sí que contempla la modificació de la línia de borda, sent aquesta de major màniga a partir de, també; 0.4 LOA i cap a popa. Es manté igual que a *MS-IOM I* per davant d'aquest punt. Es modifica lleugerament també la forma dels pantocs amb la finalitat d'acabar de guanyar el volum perdut amb la introducció de la modificació més important. El calat pateix també una petita reducció, ja que s'intenta de nou tornar a suavitzar la forma de la secció longitudinal.

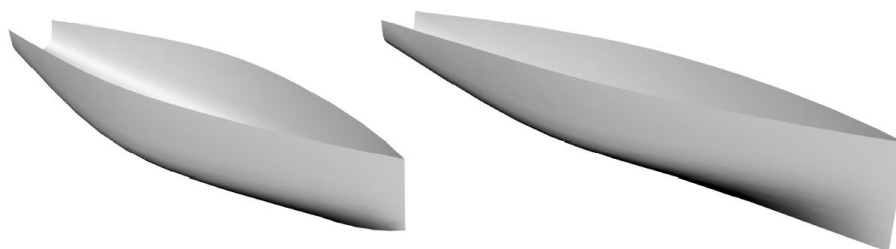


Figura 26: A la esquerra: renderitzat de la proposta *MS-IOM III*, a la dreta renderitzat del disseny base

Les dades hidrostàtiques, de resistència i estabilitat d'aquesta nova proposta es poden consultar a l'apartat A1.3 de l'annex 1.

Validació Tècnica de la proposta *MS-IOM III*

Es comprova novament que les dimensions d'aquesta nova proposta compleixen totes les restriccions, tant normatives com addicionals.

	Màxim	Mínim	MS-IOM III	
Eslora	1000	n/a	999	mm
Calat del buc	60	n/a	56,3	mm
Desplaçament	n/a	4000	4000	g
Francbord a LOA/2	100	70	85,7	mm
Posició LCB a q. mestra	20	-20	-14,4	mm (+ a proa)

Taula 9: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta *MS-IOM III* per a cada característica restringida

Novament, i després de comprovar que les restriccions dimensionals es compleixen tal com mostra la taula (9) es procedeix a realitzar l'estudi comparatiu entre les resistències de la proposta *MS-IOM III* amb el disseny base *MS-IOM I*. Es prenen com a rang de velocitats els mateixos que s'han fet servir en l'anterior procés de validació tècnica.

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM III		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16
1,5	0,38	0,37	0,375	0,36	0,36	0,36
2	0,74	0,73	0,735	0,73	0,87	0,8
2,5	1,59	2,52	2,055	1,61	3,08	2,345
3	2,38	3,93	3,155	2,26	4,53	3,395
3,5	3,17	4,75	3,96	2,94	5,33	4,135
4	3,85	5,41	4,63	3,58	5,98	4,78
4,5	4,58	6,05	5,315	4,28	6,61	5,445
5	5,39	6,71	6,05	5,05	7,25	6,15

Taula 10: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM III* per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM III		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
5,5	6,27	7,39	6,83	5,89	7,9	6,895
6	7,22	8,07	7,645	6,79	8,56	7,675
6,5	8,23	8,77	8,5	7,75	9,22	8,485
7	9,3	9,48	9,39	8,75	9,89	9,32
7,5	10,41	10,22	10,315	9,8	10,59	10,195
8	11,56	10,97	11,265	10,89	11,29	11,09
8,5	12,76	11,74	12,25	12,02	12,02	12,02
9	13,99	12,54	13,265	13,18	12,77	12,975
9,5	15,26	13,37	14,315	14,38	13,56	13,97
10	16,57	14,23	15,4	15,61	14,36	14,985

Taula 11: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM III* per a velocitats entre 5 i 10 nusos

V (kn)	MS-IOM I			MS-IOM III		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
10,5	17,91	15,11	16,51	16,88	15,2	16,04
11	19,29	16,04	17,665	18,18	16,08	17,13
11,5	20,7	16,99	18,845	19,52	16,98	18,25
12	22,14	17,98	20,06	20,88	17,92	19,4
12,5	23,62	19,01	21,315	22,28	18,89	20,585
13	25,13	20,07	22,6	23,71	19,9	21,805
13,5	26,67	21,17	23,92	25,18	20,95	23,065
14	28,25	22,31	25,28	26,68	22,03	24,355
14,5	29,86	23,49	26,675	28,21	23,16	25,685
15	31,5	24,7	28,1	29,77	24,31	27,04

Taula 12: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM I* i *MS-IOM III* per a velocitats entre 10 i 15 nusos

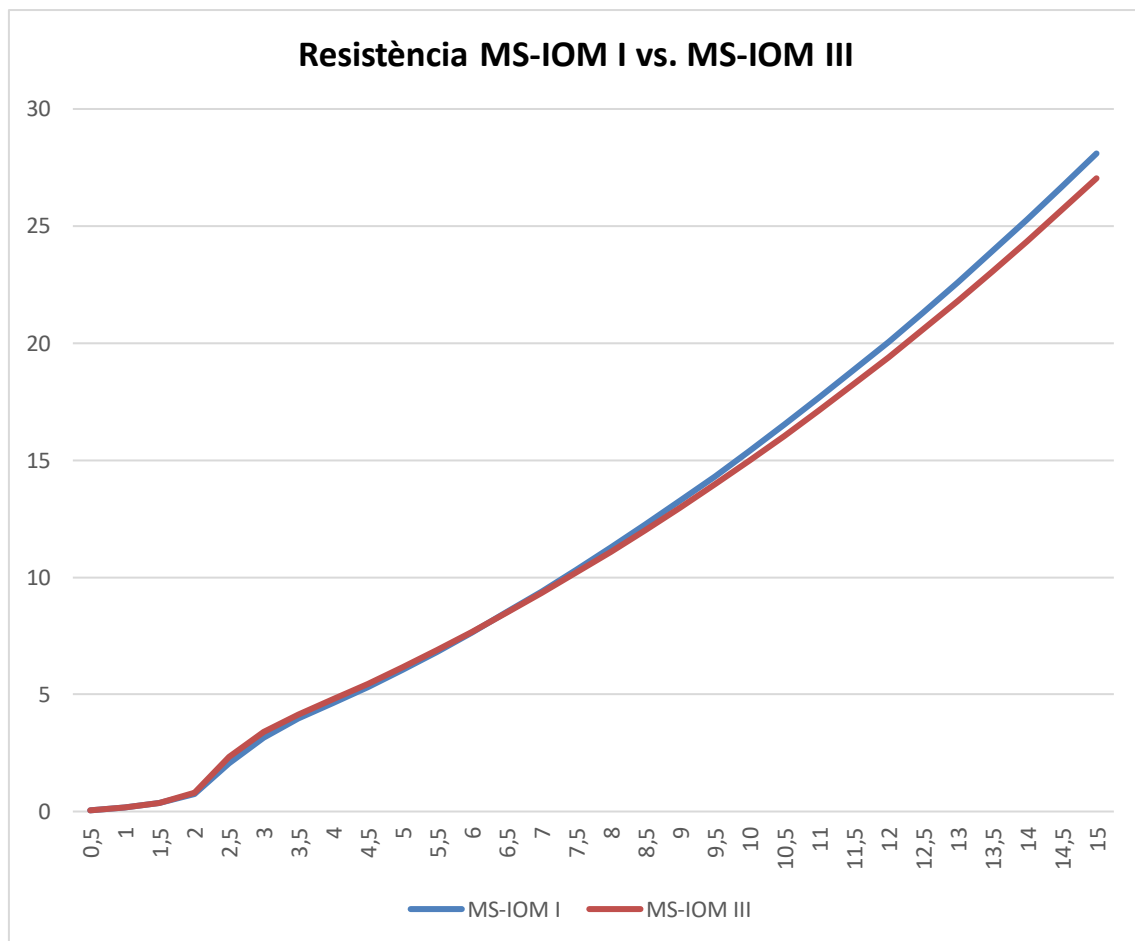


Figura 27: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta *MS-IOM I*, en blau; amb la alternativa *MS-IOM III*, en vermell

A partir de la figura (27) ja es pot apreciar com en aquest cas no hi ha pràcticament diferència entre la resistència del primer disseny amb la de la proposta més recent en situacions de velocitats baixes. De la mateixa manera, es veu que per a velocitats mitjanes i altes la proposta *MS-IOM III* millora les prestacions de resistència a l'avanç que el primer disseny. Es pot concloure que l'objectiu d'optimitzar aquesta s'ha complert en aquesta volta a l'espiral de disseny.

No obstant, observant la taula (10) s'aprecia com en situacions de velocitats fins a cinc (5) nusos la resistència a l'avanç del primer disseny segueix sent inferior. Ara bé, la diferència entre una i altra és troba entre 0,1 i 0,3 N²², una diferència pràcticament inapreciable.

Es conclou per tant que la proposta *MS-IOM III* millora les prestacions de resistència a partir de sis (6) nusos i mig de velocitat, i aquesta tendència a millorar es manté. A mesura que augmenta la velocitat, la millora creix també en magnitud. La resistència del model *MS-IOM III* és més baixa en un 57% del recorregut de l'estudi. La millora en resistència es notable, per tant no es necessari recórrer a la comparativa entre paràmetres d'estabilitat per a la presa de decisions.

A conseqüència, la proposta *MS-IOM III* passa a adoptar-se com a disseny base per a futures modificacions. Es descarta l'ús futur de *MS-IOM I*.

Proposta de disseny del folre MS-IOM IV

En base a, aquest cop; *MS-IOM III* es torna a fer un altre procés de re-disseny, introduint nous canvis en la forma de la embarcació amb la finalitat de disminuir més la resistència a l'avanç i per tant obtenir unes formes més òptimes de cara a la velocitat màxima. Les millores obtingudes a partir de les novetats en el disseny base es preveuen més discretes.

Es procedeix a introduir modificacions basades en les hipòtesis per a la reducció de la resistència inferiors:

1. Afilar la proa.
2. Enrederir *LCB*.
3. Re-definició dels pantocs

²² *Newtons*, unitat de força del sistema internacional

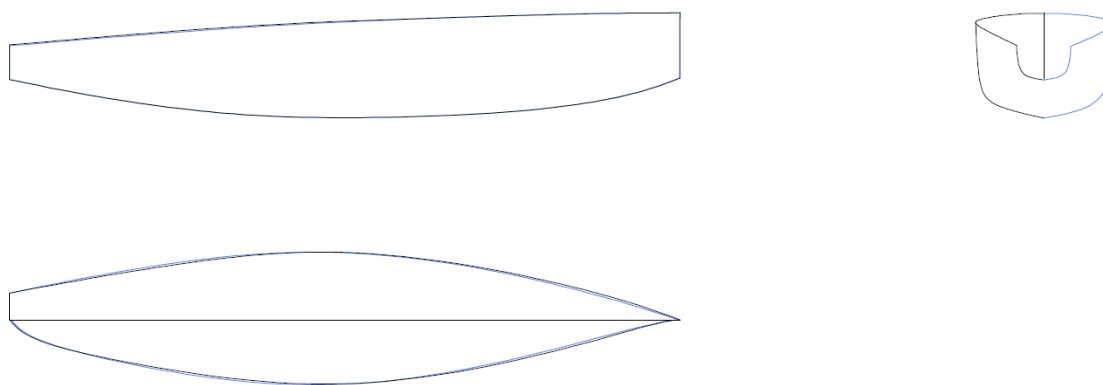


Figura 28: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta *MS-IOM IV* (en blau) comparada amb el disseny base *MS-IOM III* (en negre)

En la figura (28) es pot veure una comparativa entre el disseny base i la nova proposta. Els canvis introduïts en aquesta nou re-disseny són pràcticament inapreciables. La secció longitudinal no pateix pràcticament cap canvi. L'inici de la roda i el codast, així com la línia de quilla, i la línia de borda per davant de la quaderna mestra es mantenen iguals. Per darrere d'aquesta, el francbord es redueix lleugerament.

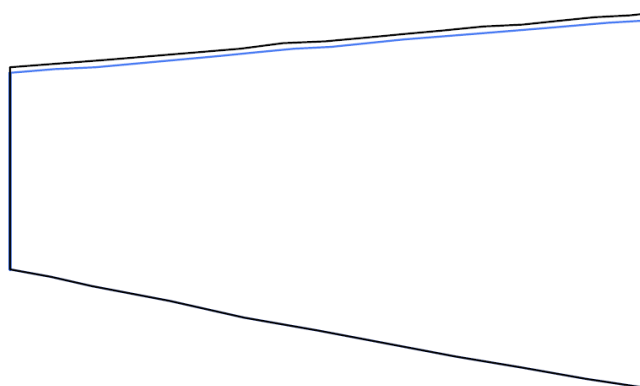


Figura 29: Vista en detall de la secció longitudinal a popa. En negre *MS-IOM III*, i *MS-IOM IV* en blau

Els pantocs s'arrodoneixen respecte al disseny previ, dotant a aquesta nova proposta d'una secció transversal més suau. Es preveu que aquest canvi influeixi positivament en la generació de valors de GZ més grans.

S'afilen lleugerament les línies d'aigua a la proa. Aquesta modificació comporta pèrdua de volum submergit que es compensa eixamplant la màniga de la embarcació per darrere de $0.5 LOA$ i fins a $0.85 LOA$ aproximadament. La línia de flotació s'afila i es suavitza a la part de proa, fet que comporta una pèrdua de màniga per davant de la quaderna mestra i per tant, un enrederament de LCB .

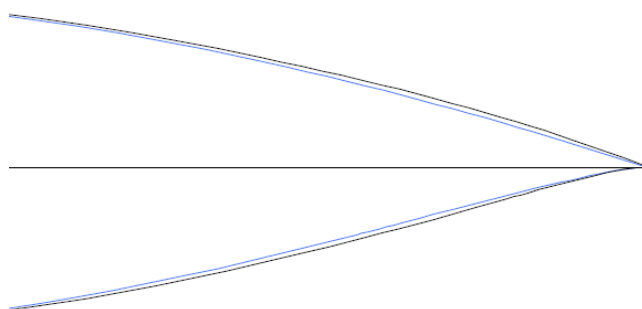


Figura 30: Vista en detall de la secció vertical a proa. En negre *MS-IOM III*, i *MS-IOM IV* en blau

S'avança lleugerament la base del codast, quedant part de la eslora de la embarcació a popa per sobre de la línia de flotació fent aquesta més progressiva també a popa del buc, buscant minimitzar el risc d'aparició de remolins.

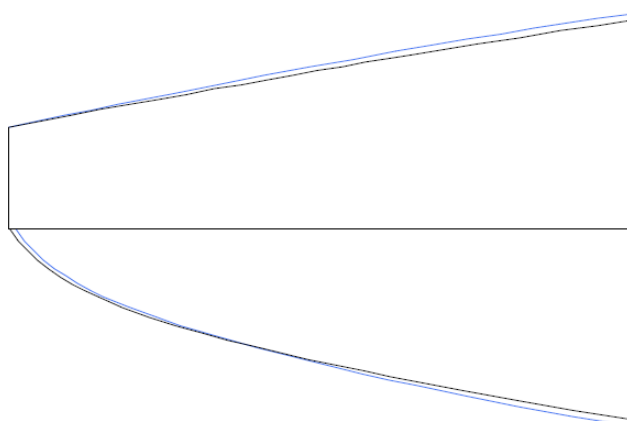


Figura 31: Vista en detall de la secció vertical a popa. A dalt línies de bordes i a baix línies de flotació dels dissenys *MS-IOM III* (negre) i *MS-IOM IV* (blau)

En aquest cas ha calgut fer ús de vistes en detall per a poder apreciar correctament els canvis debut a la subtillesa d'aquests. En conseqüència, la influència en les millores (o empitjorament, de donar-se el cas) en resistència i/o estabilitat serà també més petita.

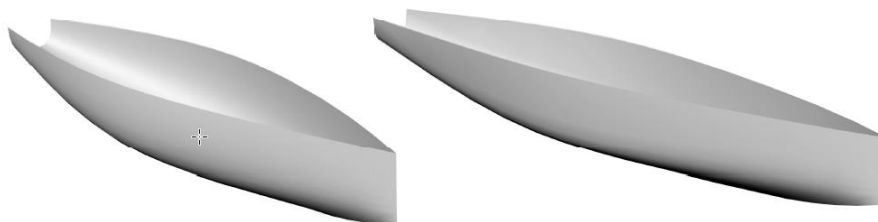


Figura 32: A la esquerra: renderitzat de la proposta *MS-IOM IV*, a la dreta renderitzat del disseny base

El fet de no afegir canvis massa grans redueix també la probabilitat “d’empitjorar” un disseny que ha resultat ser millor que el seu predecessor en la pertinent fase de validació. Aplicant pocs i petits canvis, serà més fàcil identificar on sí i on no s’ha encertat en cas que la validació tècnica resulti desfavorable.

Validació Tècnica de la proposta MS-IOM IV

Es comprova que el model compleix amb les restriccions dimensionals normatives i addicionals.

	Màxim	Mínim	MS-IOM IV	
Eslora	1000	n/a	999	mm
Calat del buc	60	n/a	56,3	mm
Desplaçament	n/a	4000	4000	g
Francbord a LOA/2	100	70	85,7	mm
Posició LCB a q. mestra	20	-20	-18,2	mm (+ a proa)

Taula 13: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta *MS-IOM IV* per a cada característica restringida

Després d’aquest pas indispensable es procedeix a fer un anàlisi comparatiu entre els valors de resistència d’aquest disseny en comparació amb el seu disseny predecessor.

V (kn)	MS-IOM III			MS-IOM IV		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
1,5	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,355
2	0,73	0,87	0,8	0,73	0,88	0,805
2,5	1,61	3,08	2,345	1,6	3,12	2,36
3	2,26	4,53	3,395	2,25	4,57	3,41
3,5	2,94	5,33	4,135	2,93	5,37	4,15
4	3,58	5,98	4,78	3,57	6,02	4,795
4,5	4,28	6,61	5,445	4,26	6,64	5,45
5	5,05	7,25	6,15	5,03	7,28	6,155

Taula 14: Taula comparativa entre les resistències de les propostes *MS-IOM III* i *MS-IOM IV* per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos

V (kn)	MS-IOM III			MS-IOM IV		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
5,5	5,89	7,9	6,895	5,86	7,92	6,89
6	6,79	8,56	7,675	6,76	8,57	7,665
6,5	7,75	9,22	8,485	7,71	9,23	8,47
7	8,75	9,89	9,32	8,71	9,9	9,305
7,5	9,8	10,59	10,195	9,75	10,59	10,17
8	10,89	11,29	11,09	10,84	11,29	11,065
8,5	12,02	12,02	12,02	11,96	12,02	11,99
9	13,18	12,77	12,975	13,12	12,77	12,945
9,5	14,38	13,56	13,97	14,31	13,55	13,93
10	15,61	14,36	14,985	15,54	14,35	14,945

Taula 15: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM III* i *MS-IOM IV* per a velocitats entre 5 i 10 nusos

V (kn)	MS-IOM III			MS-IOM IV		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
10,5	16,88	15,2	16,04	16,8	15,19	15,995
11	18,18	16,08	17,13	18,1	16,06	17,08
11,5	19,52	16,98	18,25	19,42	16,96	18,19
12	20,88	17,92	19,4	20,79	17,9	19,345
12,5	22,28	18,89	20,585	22,18	18,87	20,525
13	23,71	19,9	21,805	23,61	19,88	21,745
13,5	25,18	20,95	23,065	25,07	20,92	22,995
14	26,68	22,03	24,355	26,56	22,01	24,285
14,5	28,21	23,16	25,685	28,09	23,13	25,61
15	29,77	24,31	27,04	29,64	24,28	26,96

Taula 16: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM III* i *MS-IOM IV* per a velocitats entre 10 i 15 nusos.

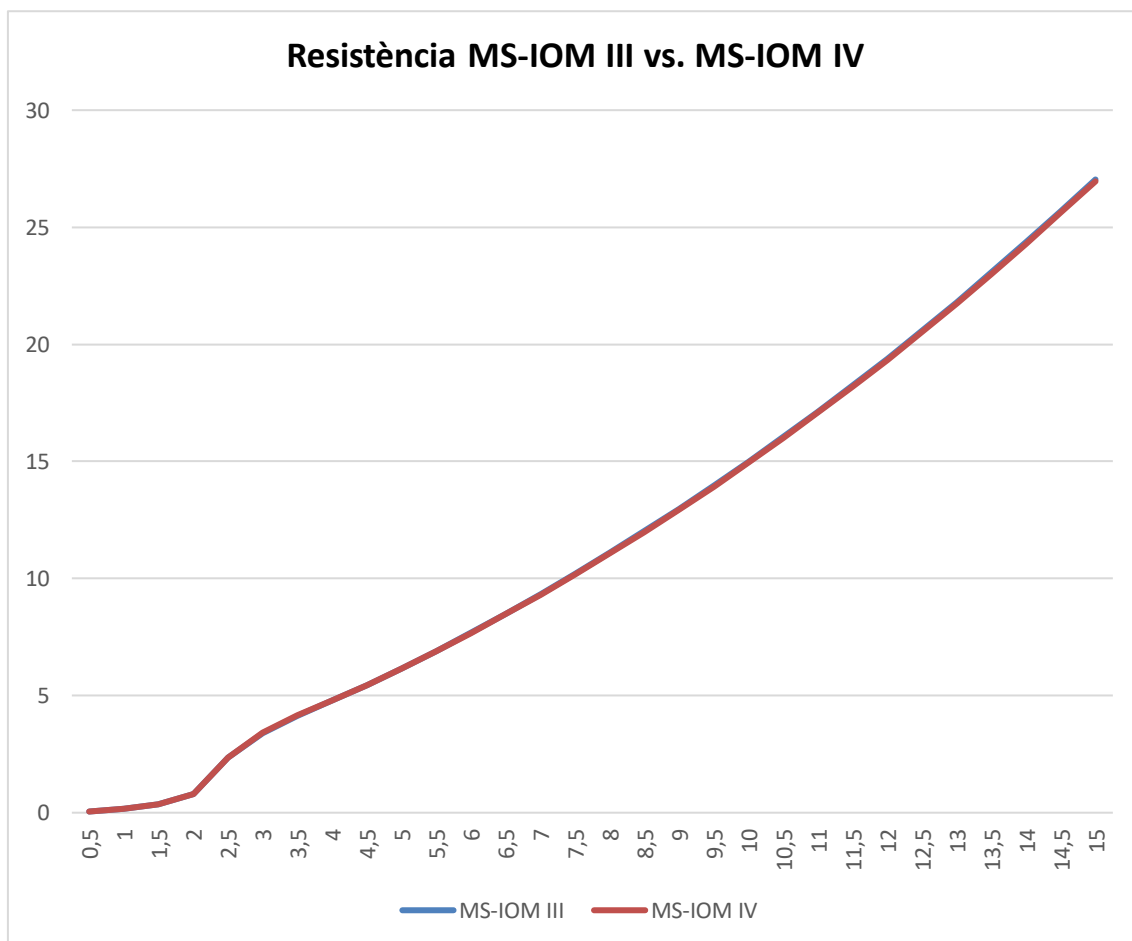


Figura 33: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta *MS-IOM III*, en blau; amb la alternativa *MS-IOM IV*, en vermell

En aquest cas, tant per la gràfica que apareix en la figura (33) com per les dades exposades en les taules (14), (15) i (16) es veu com la resistència a l'avanç es pràcticament la mateixa en ambdós models de formes.

Entre zero (0) i cinc (5) nusos, la resistència mitja varia algunes mil·lèsimes de *Newton* entre una forma i l'altra, sent lleugerament inferior en el model *MS-IOM III*. Si bé existeix una diferència ínfima, en base als resultats s'ha de dir que el nou model *MS-IOM IV* no millora la resistència a l'avanç en tot l'interval de velocitats baixes.

En l'interval de velocitats de cinc (5) a deu (10) nusos la situació s'inverteix, i aquesta vegada és la resistència del disseny *MS-IOM IV* inferior a la del disseny base. El diferencial entre ambdós models dins d'aquest rang té un valor màxim de 0.04 *Newtons*, i és favorable a *MS-IOM IV*. Novament, i en base als valors que presenten ambdós models; aquest cop el model *MS-IOM IV* sí demostra ser més òptim de cara a la minimització de la resistència a l'avanç.

En l'interval de velocitats de deu (10) a quinze (15) nusos es manté la mateixa tendència de creixement de la diferència de velocitats d'ambdós models. De nou, la diferència màxima és de 0,08 *Newtons* de força favorable a la nova proposta *MS-IOM IV*.

En la taula (17) es poden veure els dos valors de resistència mitjans comparats i el diferencial entre aquests en tot el rang de velocitats per al que es fa l'estudi.

V (kn)	MS-IOM III	MS-IOM IV	Diferencial
0,5	0,05	0,05	0
1	0,16	0,16	0
1,5	0,36	0,355	-0,005
2	0,8	0,805	0,005
2,5	2,345	2,36	0,015
3	3,395	3,41	0,015
3,5	4,135	4,15	0,015
4	4,78	4,795	0,015
4,5	5,445	5,45	0,005
5	6,15	6,155	0,005
5,5	6,895	6,89	-0,005
6	7,675	7,665	-0,01
6,5	8,485	8,47	-0,015
7	9,32	9,305	-0,015
7,5	10,195	10,17	-0,025
8	11,09	11,065	-0,025
8,5	12,02	11,99	-0,03
9	12,975	12,945	-0,03
9,5	13,97	13,93	-0,04
10	14,985	14,945	-0,04
10,5	16,04	15,995	-0,045
11	17,13	17,08	-0,05
11,5	18,25	18,19	-0,06
12	19,4	19,345	-0,055
12,5	20,585	20,525	-0,06
13	21,805	21,745	-0,06
13,5	23,065	22,995	-0,07
14	24,355	24,285	-0,07
14,5	25,685	25,61	-0,075
15	27,04	26,96	-0,08

Taula 17: Diferencia entre les resistències a l'avanç mitjanes dels models *MS-IOM III* i *MS-IOM IV*

El model *MS-IOM IV* millora la resistència a l'avanç del seu disseny precedent en condicions de velocitat mitjana i alta; no sent així en condicions de velocitat baixa. La diferència entre ambdues resistències no és suficientment gran, però, com per afirmar que les modificacions introduïdes sobre *MS-IOM III* per conferir la proposta *MS-IOM IV* optimitzen el disseny.

Per tant caldrà recórrer a un criteri alternatiu que permeti confirmar quin dels dos dissenys tindrà un millor comportament dins d'un camp de regates. Aquest criteri alternatiu serà la estabilitat d'ambdues embarcacions, i en concret els braços d'adreçament generats per cada buc. El rang d'escorres considerat per a la comparació es de zero (0) a setanta (70). Per sobre d'aquest angle molt probablement la embarcació no es trobi en condició de navegació, si no en una situació anormal.

Escora	GZ (mm)	
	MS-IOM III	MS-IOM IV
0	0	0
5	8,8	8,9
10	17,5	17,7
15	26,1	26,3
20	34,4	34,7
25	42,2	42,6
30	49,6	50,2
35	56,6	57,3
40	63,2	64,1
45	69,6	70,6
50	75,6	76,5
55	80,6	81,3
60	84,6	85,2
65	87,6	87,9
70	89,5	89,6

Taula 18: Valors de GZ de MS-IOM III i MS-IOM IV en funció de l'angle d'escora

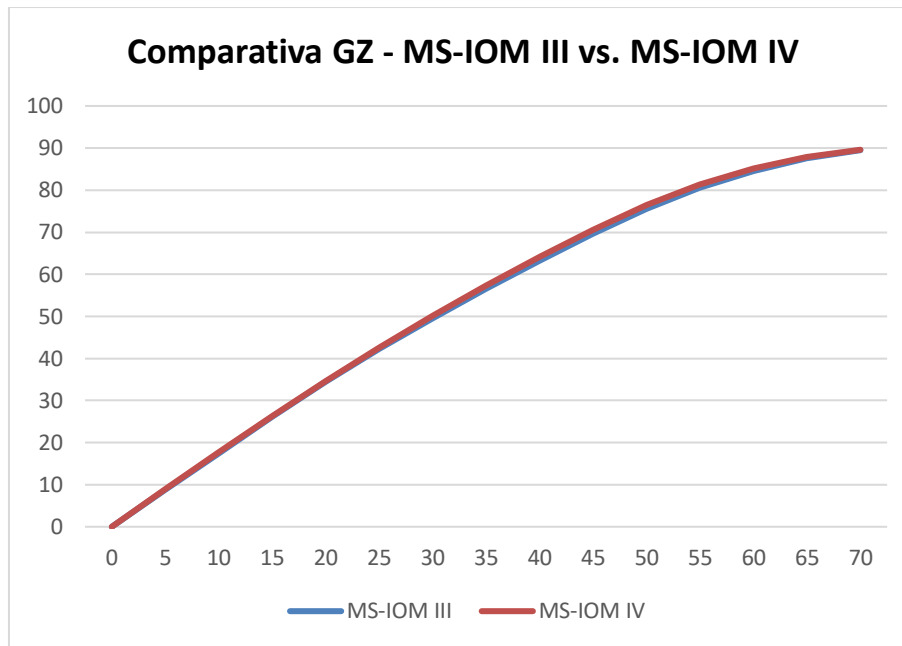


Figura 34: Gràfica comparativa entre braços d'adreçament de *MS-IOM III* i *MS-IOM IV*

Al haver realitzat canvis petits en el disseny previ, efectivament, les millores obtingudes han sigut petites. No obstant, a partir de l'anàlisi de les estabilitats d'ambdues embarcacions sí que es podrà determinar aquest com quin dels dos dissenys resultarà més idoni per a una competició. Observant la figura (34), es pot concloure que les dades d'estabilitat també son pràcticament iguals, igual que ho eren els valors de resistència. Cal un estudi més precís, doncs; per tal de determinar quina de les dues embarcacions serà més estable fent servir la taula (18) on es poden veure els valors de GZ d'ambdues embarcacions.

En ella es pot observar que, ja des d'escores petites; la proposta *MS-IOM IV* millora les prestacions ofertes pel disseny *MS-IOM III* que ha servit de base ja que la dimensió GZ és superior. Novament, però; les diferències son petites. La estabilitat de la embarcació, per tant; és millor en *MS-IOM IV* que en el seu predecessor. De manera subtil, però debut a que la proposta *MS-IOM IV* millora tant la resistència a l'avanç com la estabilitat, s'adopta com a nou model base en substitució del model *MS-IOM III*, que queda en conseqüència descartat.

Proposta de disseny del folre *MS-IOM V*

Es realitza un quart re-disseny, suposant una cinquena volta a l'espiral de disseny. En l'anterior validació tècnica s'observen que les diferències entre les característiques subjectes a comparació de la proposta nova i el disseny base previ han sigut petites. Això pot significar que el model que s'ha obtingut, i amb les restriccions normatives i addicionals marcades abans de l'inici de la fase de disseny de les formes, difícilment podrà optimitzar-se més.

D'aquest re-disseny no s'espera una optimització gran. Es probable, a més, que per disminuir l'arrossegament calgui sacrificar en estabilitat. En cas d'obtenir un disseny que presenti guany en una característica i pèrdua en una altra, preval la resistència a l'avanç per ser la característica crítica de disseny en la pressa de decisions.

Les modificacions introduïdes aniran en concordança amb les hipòtesis de millora següents:

1. Pèrdua de màniga
2. Re-definició dels pantocs
3. Suavitzat de la superfície del folre

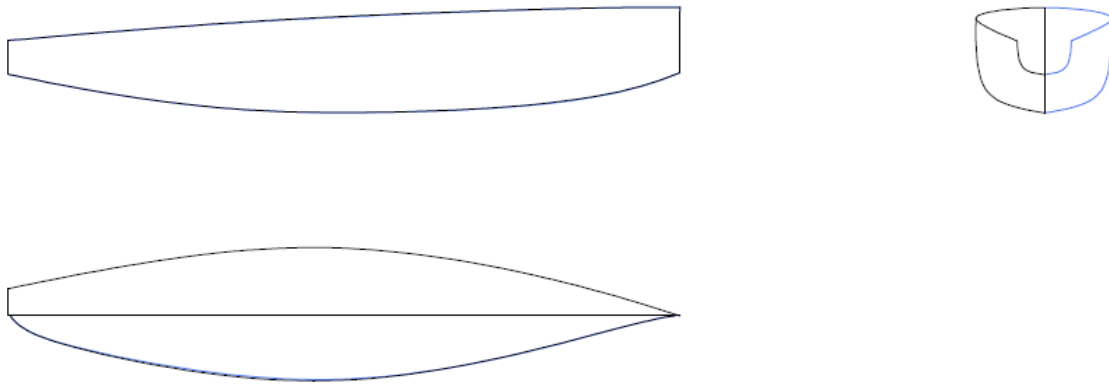


Figura 35: D'esquerra a dreta i de dalt a baix: vista d'estribord, popa, línia de borda i línia de flotació de la proposta *MS-IOM V* (en blau) comparada amb el disseny base *MS-IOM IV* (en negre)

Els canvis introduïts en aquesta ronda es centren sobretot en el suavitzat de les formes del disseny previ, sense afectar pràcticament les dimensions anteriors buscant minimitzar la formació de remolins. En aquesta línia, el calat de la embarcació a la secció de proa augmenta lleugerament per arrodonir aquesta secció. En la figura (36), a sota, es pot apreciar millor aquest canvi.

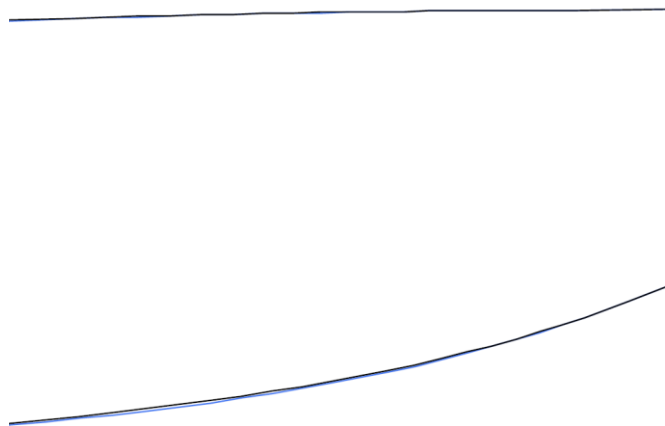


Figura 36: Vista en detall de la secció longitudinal a proa. *MS-IOM IV* en negre i *MS-IOM V* en blau

Es redueix la màniga lleugerament en la línia de flotació de la embarcació. El volum perdut s'ha compensat perdent angle d'estella morta. Aquest canvi comportarà una pèrdua en la magnitud dels braços d'adreçament generats pel buc en situacions d'escora.

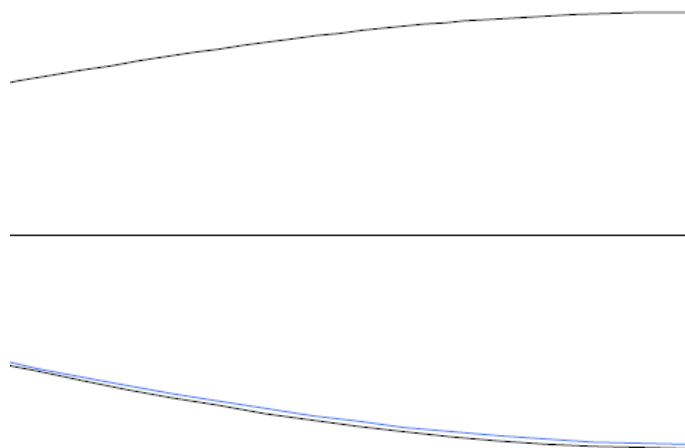


Figura 37: Vista en detall de la secció vertical a popa de la quaderna mestra, *MS-IOM IV* en negre i *MS-IOM V* en blau

Per acabar, la línia de borda també s'arrodoneix. Aquest canvi només persegueix una finalitat merament estètica.

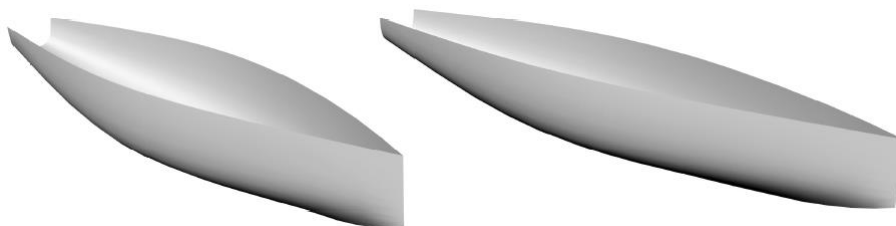


Figura 38: A la esquerra: renderitzat de la proposta *MS-IOM V*, a la dreta renderitzat del disseny base

Durant aquesta fase de re-disseny, moltes de les modificacions realitzades s'han hagut de desfer ja que entraven en conflicte amb les dimensions mínimes o màximes establertes per normativa o per criteris de disseny. S'han realitzat uns canvis molt minimalistes. Sempre s'estarà a temps de realitzar una nova volta a l'espiral de disseny si es considera que encara hi existeix potencial de millora.

Les dades hidrostàtiques, de resistència i d'estabilitat de la proposta *MS-IOM V* es troben exposades a l'apartat A1.5 de l'annex 1.

Validació Tècnica de la proposta MS-IOM IV

Obtingut MS-IOM V i les seves dades de resistència a l'avanç i estabilitat; es procedeix a realitzar una nova validació tècnica. Es comprova primer que el disseny compleix totes les restriccions.

	Màxim	Mínim	MS-IOM V	
Eslora	1000	n/a	999	mm
Calat del buc	60	n/a	56,4	mm
Desplaçament	n/a	4000	4000	g
Francbord a LOA/2	100	70	85,7	mm
Posició LCB a q. mestra	20	-20	-15,3	mm (+ a proa)

Taula 19: Màxim, mínim i valor obtingut en la proposta MS-IOM V per a cada característica restringida

Es comprova doncs que totes les restriccions de norma i addicionals en quant a dimensions i paràmetres hidroestàtics han estat complides. A més, també la forma del folre serà realitzable en una posterior fase de construcció. Es pot procedir amb la comparació de resistències a l'avanç fent ús dels mateixos rangs que anteriorment per a la comparativa.

V (kn)	MS-IOM IV			MS-IOM V		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
1,5	0,36	0,35	0,355	0,36	0,35	0,355
2	0,73	0,88	0,805	0,73	0,86	0,795
2,5	1,6	3,12	2,36	1,59	3,07	2,33
3	2,25	4,57	3,41	2,25	4,51	3,38
3,5	2,93	5,37	4,15	2,94	5,3	4,12
4	3,57	6,02	4,795	3,58	5,94	4,76
4,5	4,26	6,64	5,45	4,27	6,56	5,415
5	5,03	7,28	6,155	5,04	7,19	6,115

Taula 20: Taula comparativa entre les resistències de les propostes MS-IOM IV i MS-IOM V per a velocitats inferiors o iguals a 5 nusos

V (kn)	MS-IOM IV			MS-IOM V		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
5,5	5,86	7,92	6,89	5,88	7,82	6,85
6	6,76	8,57	7,665	6,77	8,47	7,62
6,5	7,71	9,23	8,47	7,73	9,12	8,425
7	8,71	9,9	9,305	8,73	9,79	9,26
7,5	9,75	10,59	10,17	9,77	10,47	10,12
8	10,84	11,29	11,065	10,86	11,16	11,01
8,5	11,96	12,02	11,99	11,98	11,88	11,93
9	13,12	12,77	12,945	13,14	12,63	12,885
9,5	14,31	13,55	13,93	14,34	13,4	13,87
10	15,54	14,35	14,945	15,57	14,2	14,885

Taula 21: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM IV* i *MS-IOM V* per a velocitats entre 5 i 10 nusos

V (kn)	MS-IOM IV			MS-IOM V		
	Holtrop	S.Body	Mitja	Holtrop	S.Body	Mitja
10,5	16,8	15,19	15,995	16,83	15,03	15,93
11	18,1	16,06	17,08	18,12	15,89	17,005
11,5	19,42	16,96	18,19	19,45	16,79	18,12
12	20,79	17,9	19,345	20,81	17,72	19,265
12,5	22,18	18,87	20,525	22,2	18,68	20,44
13	23,61	19,88	21,745	23,62	19,68	21,65
13,5	25,07	20,92	22,995	25,08	20,72	22,9
14	26,56	22,01	24,285	26,57	21,8	24,185
14,5	28,09	23,13	25,61	28,09	22,91	25,5
15	29,64	24,28	26,96	29,65	24,05	26,85

Taula 22: Taula comparativa entre resistències de les propostes *MS-IOM IV* i *MS-IOM V* per a velocitats entre 10 i 15 nusos.

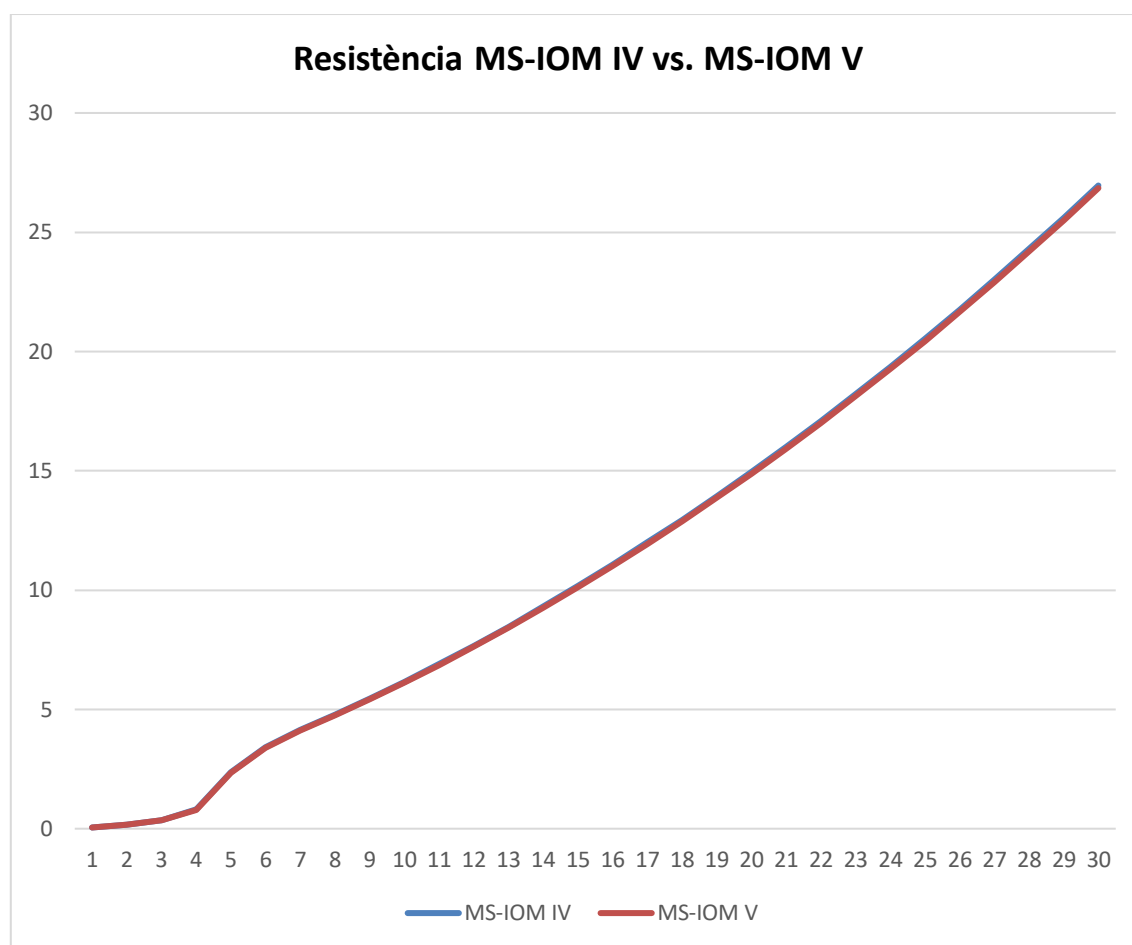


Figura 39: Gràfica comparativa entre les resistències mitjanes de la proposta *MS-IOM IV*, en blau; amb la alternativa *MS-IOM V*, en vermell

Com en el cas anterior, a simple vista a partir de la figura(40) és impossible determinar si l'alternativa *MS-IOM V* és més òptim o menys de cara a la minimització de l'arrossegament. Es per això que caldrà compara valors a partir de les taules (20), (21) i (22).

En la primera d'elles, s'observa com la resistència mitjana d'ambdues embarcacions és, pràcticament, la mateixa. La diferencia, no obstant; es més acusada que en el procés de validació del disseny *MS-IOM IV* pres com a base; sent la resistència a l'avanç de la proposta *MS-IOM V* inferior. En l'interval de velocitats mitges s'observa com l'arrossegament de la nova proposta segueix sent inferior a la del seu disseny precedent. De nou, la diferència entre resistències en aquesta validació tècnica es lleugerament superior a l'anterior.

Les resistències d'ambos models obtingudes per a l'interval de deu (10) a quinze (15) nusos, corresponent a velocitats de navegació altes; confirma que la resistència a l'avanç del nou model *MS-IOM V* és inferior al disseny pres com a base. En tot el rang de velocitats, a més. Per tant es pot afirmar que la forma més òptima de cara a la minimització de l'arrossegament és la nova proposta.

En la taula (23) es poden observar les diferències entre ambdós valors de resistència mitja.

V (kn)	MS-IOM IV	MS-IOM V	Diferència
0,5	0,05	0,05	0
1	0,16	0,16	0
1,5	0,355	0,355	0
2	0,805	0,795	-0,01
2,5	2,36	2,33	-0,03
3	3,41	3,38	-0,03
3,5	4,15	4,12	-0,03
4	4,795	4,76	-0,035
4,5	5,45	5,415	-0,035
5	6,155	6,115	-0,04
5,5	6,89	6,85	-0,04
6	7,665	7,62	-0,045
6,5	8,47	8,425	-0,045
7	9,305	9,26	-0,045
7,5	10,17	10,12	-0,05
8	11,065	11,01	-0,055
8,5	11,99	11,93	-0,06
9	12,945	12,885	-0,06
9,5	13,93	13,87	-0,06
10	14,945	14,885	-0,06
10,5	15,995	15,93	-0,065
11	17,08	17,005	-0,075
11,5	18,19	18,12	-0,07
12	19,345	19,265	-0,08
12,5	20,525	20,44	-0,085
13	21,745	21,65	-0,095
13,5	22,995	22,9	-0,095
14	24,285	24,185	-0,1
14,5	25,61	25,5	-0,11
15	26,96	26,85	-0,11

Taula 23: Diferència entre les resistències a l'avanç mitjanes dels models *MS-IOM IV* i *MS-IOM V*

L'arrossegament, si bé inferior en el resultat del re-disseny; no disminueix de manera notable, per tant és necessari l'estudi de la estabilitat. A continuació es procedeix a comparar els braços d'adreçament d'ambdós models. Si en el cas de *MS-IOM V* és superior, i per tant; millora la estabilitat del seu disseny base, potser encara es podrà tornar a fer un re-disseny per tal de trobar noves millores.

Escora	MS-IOM IV	MS-IOM V
0	0	0
5	8,9	8,6
10	17,7	17,2
15	26,3	25,6
20	34,7	33,8
25	42,6	41,6
30	50,2	49
35	57,3	56,1
40	64,1	62,9
45	70,6	69,4
50	76,5	75,3
55	81,3	80,2
60	85,2	84
65	87,9	86,9
70	89,6	88,6

Taula 24: Valors de GZ de *MS-IOM IV* i *MS-IOM V* en funció de l'angle d'escora

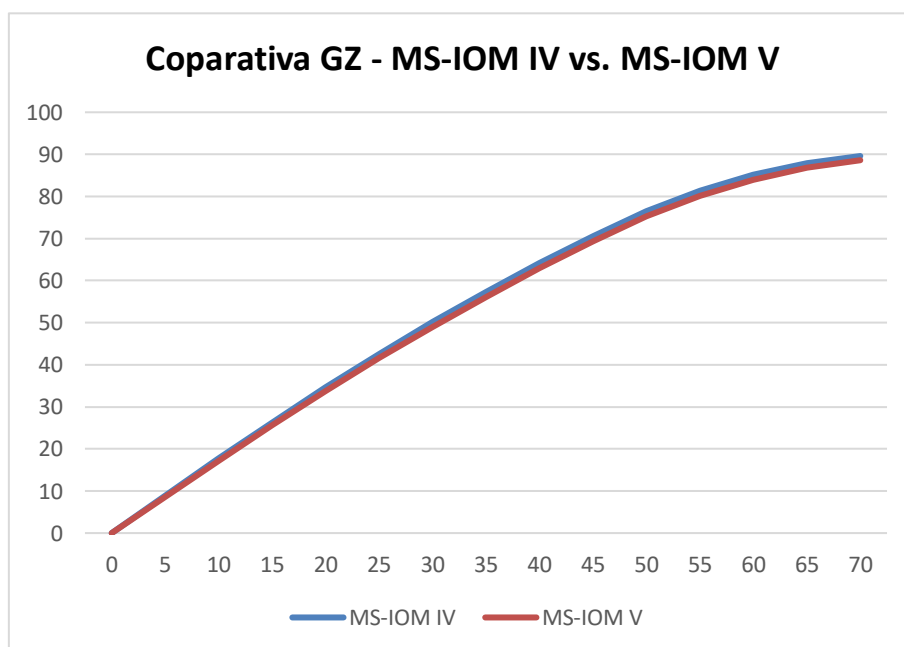


Figura 40: Gràfica comparativa entre braços d'adreçament de *MS-IOM IV* i *MS-IOM V*

Pels resultats mostrats en la taula (24) i la figura (40) es conclou que la característica crítica de disseny; que és la resistència a l'avanç s'ha vist millorada respecte al disseny base, però mínimament. I per contra, la estabilitat és superior al model base, i s'ha perdut en aquest aspecte. També de manera inapreciable. En aquestes condicions, serà convenient buscar un tercer element que pugui donar alguna informació extra per tal de determinar si la nova proposta tindrà un millor comportament o bé el tindrà el model previ.

L'únic valor que ha variat entre ambdós bucs i que pot influir, no només en la resistència i en la estabilitat; si no en la posterior distribució de pesos que s'haurà de realitzar per garantir la bona navegabilitat de la embarcació és la posició longitudinal del centre de carena, o *LCB*.

Per a aquest valor, s'han fixat uns paràmetres màxims i mínims. Tots dos dissenys han complert. Però, per tal de minimitzar l'aparició d'angles d'assentament el centre de gravetat d'aquest s'haurà d'alinejar amb *LCB*. A la vegada, l'orsa convé que estigui el més avançada possible per mantenir el centre de deriva (centre d'àrees de la obra viva i els apèndixs) el més alineat amb el centre vèlic. D'existir una desalineació, es produirà un moment que provocarà que la embarcació viri.

En la taula (25) es poden veure els valors de *LCB* en funció de l'angle d'escora del disseny *MS-IOM IV* i el disseny alternatiu *MS-IOM V*. S'estudia aquest en el mateix recorregut d'escores que s'ha considerat per a l'estudi de la estabilitat.

Escora	LCB		
	MS-IOM IV	MS-IOM V	Diferencia
0	-17,8	-14,9	2,9
5	-18,1	-15,1	3
10	-18,7	-15,7	3
15	-19,7	-16,7	3
20	-21,2	-18	3,2
25	-23	-19,7	3,3
30	-25,1	-21,7	3,4
35	-27,4	-23,9	3,5
40	-30	-26,4	3,6
45	-32,8	-29,1	3,7
50	-35,4	-31,6	3,8
55	-37,4	-33,6	3,8
60	-38,7	-34,9	3,8
65	-39,2	-35,5	3,7
70	-39	-35,4	3,6

Taula 25: Valors de *LCB* de *MS-IOM IV* i *MS-IOM V* en funció de l'angle d'escora

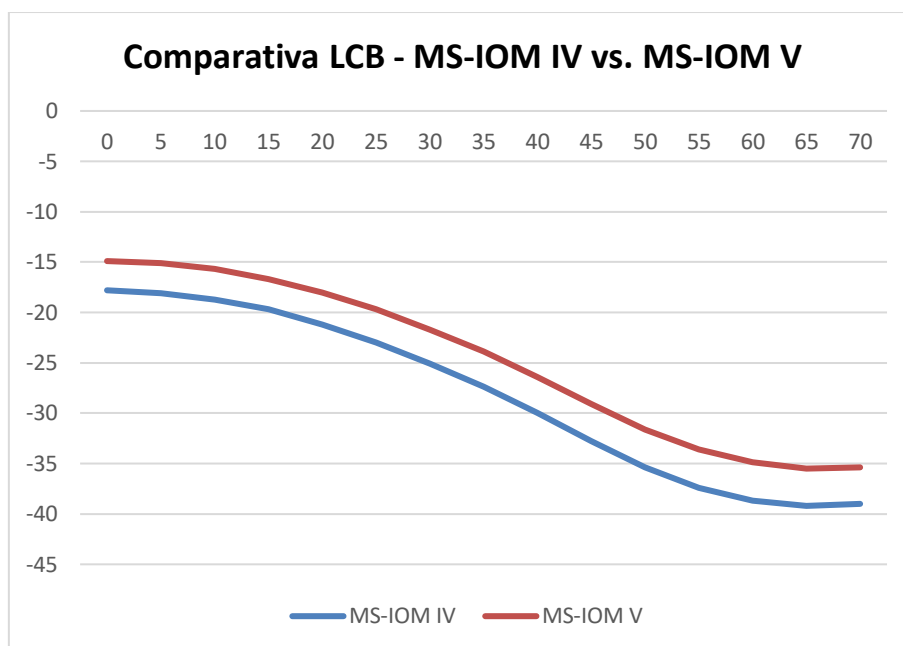


Figura 41: Gràfica comparativa entre els LCB de *MS-IOM IV* i *MS-IOM V*

S'observa com el LCB de *MS-IOM V* es troba més a proa que el de *MS-IOM IV* en condicions d'escora 0. Per tant, això permetrà un posicionament més neutre de la quilla. En la pràctica, és res. Però si es té en compte la variació de LCB respecte la escora, també podem veure que la diferència entre les dues propostes augmenta proporcionalment a la escora. Ambos models desplacen el centre de carena cap a popa quan escoren, però el disseny *MS-IOM IV* tendeix a fer-ho més.

Suposant que la distribució de pesos es realitzarà amb la finalitat de mantenir LCG^{23} alineat amb el LCB a escora zero i tenint en compte que el primer es manté fixe amb aquesta, en ambdós bucs es generaria un angle d'assentament a proa quan naveguin amb escora afectant l'arrossegament.

Com en la proposta *MS-IOM V*, LCB sempre es troba més a proa que en el seu disseny precedent, la tendència a "clavar la proa" del model *MS-IOM IV* serà més gran que la del model *MS-IOM V*. Com també ho seran els angles d'assentament. Aquesta consideració implica que les dades de LCB de la proposta *MS-IOM V* son més avantatjoses. Ergo, i en conjunt amb el també optimitzat arrossegament; es pot considerar que *MS-IOM V* és un disseny millorat de la base de la qual parteix. En aquest punt, i debut a la magnitud de les millores obtingudes, la possibilitat d'obtenir un disseny més òptim és molt reduïda. En conseqüència, el disseny del folre *MS-IOM V* serà definitiu. La resta d'elements que conformen el buc es dissenyaran d'acord amb aquest.

El procés d'acceptació/descart de les formes del folre es resumeix en l'esquema (42).

²³ De l'anglès *Longitudinal Centre of Gravity*, posició longitudinal del centre de gravetat.

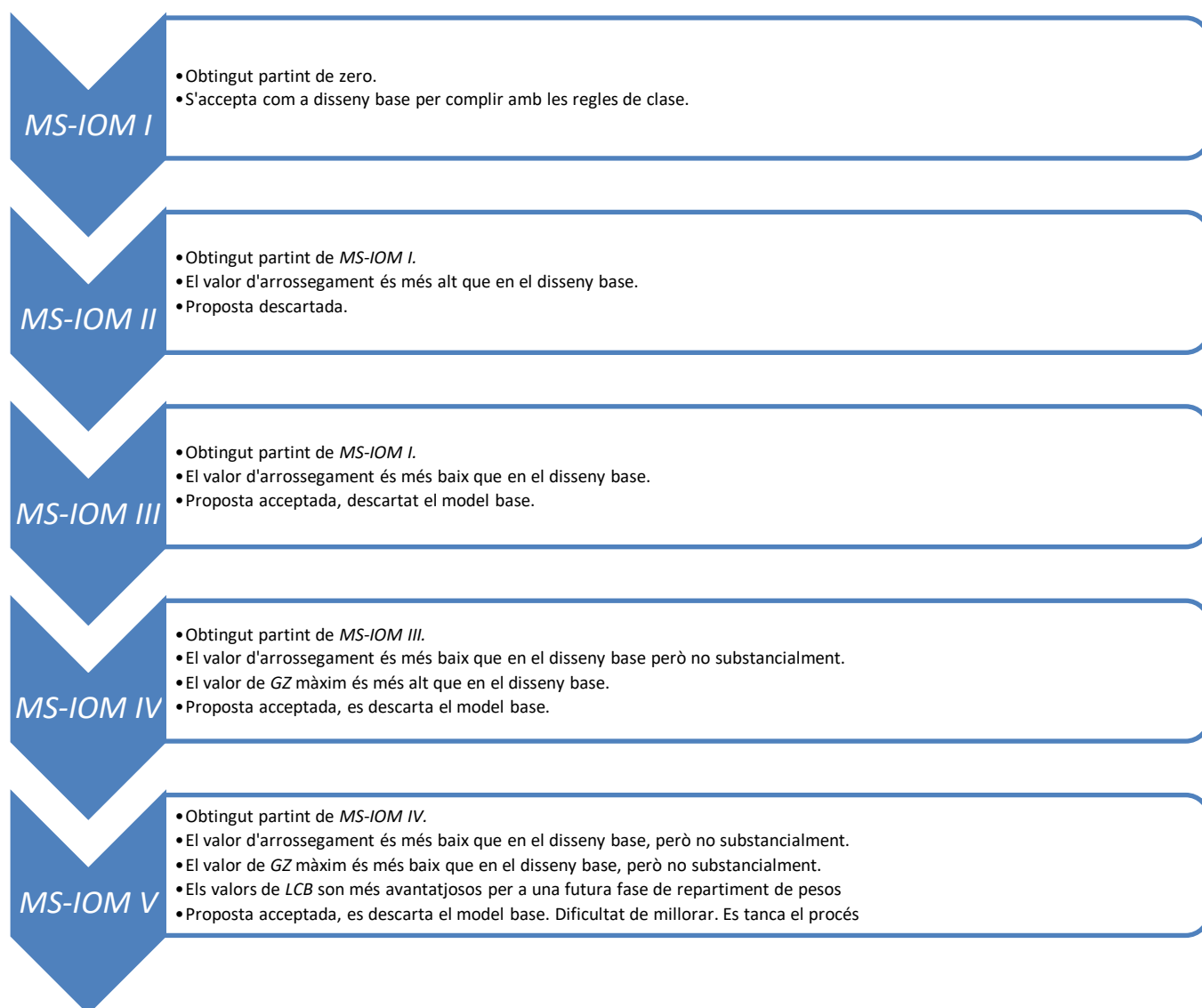


Figura 42: Esquema resum del procés d'acceptació/descart de les formes del folre

3.2.3 Disseny de la coberta

En aquest apartat es detalla el procediment seguit per al disseny de la coberta del buc. Aquest element suposa el tancament superior d'aquest, possibilitant la estanqueïtat de la embarcació i permetent l'aparició d'espais aprofitables per a la instal·lació de maquinari de govern o altres equips.

El procés de disseny d'aquest element resulta notablement més senzill que el disseny de les formes del folre. Doncs no afectarà la resistència a l'avanç ni a la estabilitat.

3.2.3.1 Metodologia de disseny per a la coberta

Es descriu en aquest sots-apartat la metodologia de disseny seguida per a dissenyar la coberta.

Definició de les característiques de disseny

Es tindran en compte les següents característiques de disseny:

- Es dividirà la coberta principal en dues cobertes: de proa i de popa.
- Es dissenyarà una coberta interna per a la instal·lació del maquinari.
- Les cobertes de proa i popa seran estanques i tindran una forma que evitarà acumulacions d'aigua.
- Les cobertes de proa i popa tindran un petit registre per a la evacuació d'aigua.
- Totes les cobertes tindran una forma determinada per la forma del folre.
- Les cobertes de proa i popa facilitaran la instal·lació i operació de la eixàrcia.
- Les cobertes hauran de ser realitzables.

Modelat de les cobertes

Es farà servir el *software Rhinoceros 3D* per al delineat de les cobertes. Serà el *software* també que s'emprarà en futures fases de disseny, també. El procés de disseny d'aquests elements consistirà en el dibuix d'unes vistes alçades, planta i perfil de la coberta en qüestió, i a partir de les línies de contorn; la creació d'una superfície corba amb l'eina *Superfície desde Aristas*, disponible al *software*. No es contempla l'espessor en el dibuixat del model en tres dimensions.

Validació tècnica i criteri comparatiu

Un disseny serà vàlid si compleix amb les característiques de disseny definides anteriorment. La funció d'aquest element en el conjunt de la embarcació no justifica un disseny tan meticulós.

3.2.3.2 Procés de disseny de les cobertes i resultats

A continuació s'exposa el procediment seguit per al disseny de les cobertes així com els resultats obtinguts i les dimensions d'aquests.

Coberta de proa

La coberta superior es dissenya a partir de la línia de borda del buc i a proa de la secció mestra. Aquesta s'ubica per sobre de la esmentada línia. Per a aquesta coberta es realitza un disseny inicial que dibuixa una cresta al llarg de l'eix de crugia.

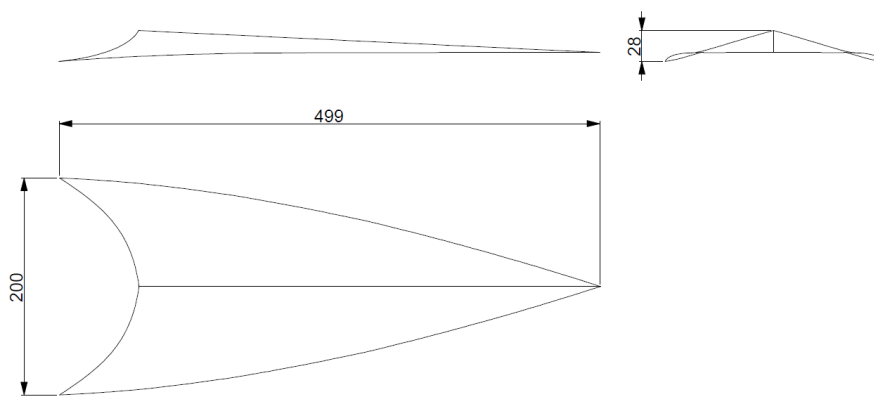


Figura 43: Formes i dimensions del primer disseny de la coberta de proa

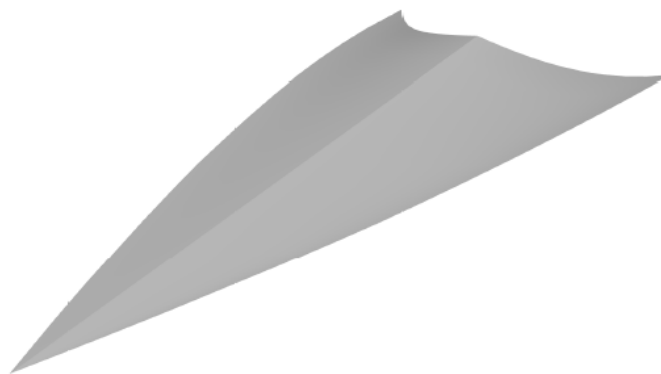


Figura 44: Imatge renderitzada del primer disseny de la coberta de proa

Si bé la planta de la coberta de proa està en gran part determinada per la línia de borda, es disposa de certa llibertat per a crear un disseny que impedeixi l'embarcament d'aigua o faciliti la evacuació de la que, eventualment, pugui embarcar.

El tall arrodonit ubicat a popa de la coberta respon a la necessitat de permetre un espai diàfan per a tenir disponible per a la instal·lació i operació de la eixàrcia de labor, el pal i les botavares.

Malgrat el concepte resultaria vàlid per a l'acompliment de l'esmentat anteriorment, aquesta forma podria resultar inviable de construir fent ús de certs materials, com per exemple *Composites*. L'haver de construir un motlle amb una forma tant afilada per a dotar la coberta de la cresta podria dificultar enormement la fabricació del pertinent motlle, de ser necessari. A part, pot passar que la resina i la fibra, simplement; no agafin aquesta forma en un procés de laminat convencional.

Es per això que s'opta per re-dissenyar la coberta partint de la proposta creada anteriorment, mantenint un disseny que no permeti l'acumulació d'aigua a la vegada que sigui més senzill de fabricar que aquest últim. El re-disseny es pot veure a les figures (45) i (46).

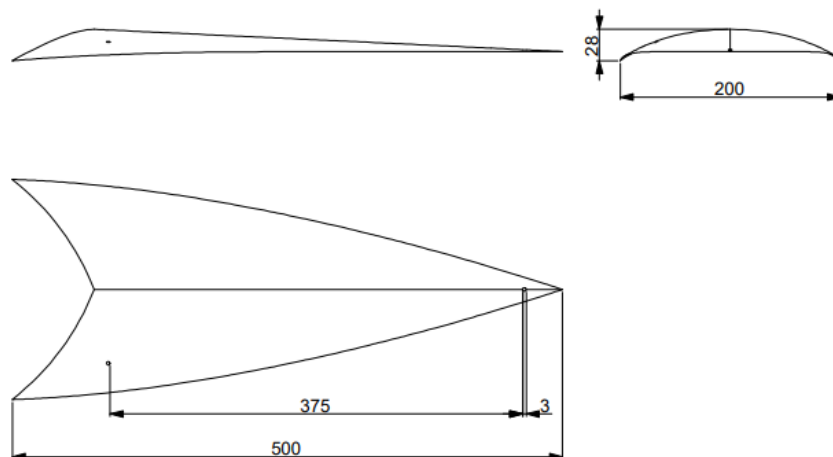


Figura 45: Formes i dimensions del disseny definitiu de la coberta de proa



Figura 46: Imatge renderitzada del disseny definitiu de la coberta de popa

El principal canvi en el disseny inicial consisteix en la substitució de la cresta per una forma convexa. D'aquesta manera s'assoleix un disseny que facilita la evacuació i la no acumulació d'aigua a la vegada que la construcció d'aquest es torna molt més senzilla si es compara amb la del primer model. Es manté el tall arrodonit del disseny inicial amb la mateixa intenció: facilitar la operació de la botavara de la vela major.

Es posicionen també dos orificis de 3 mil·límetres de diàmetre. El més a proa servirà per a la instal·lació del giratori de la botavara del foc (en una embarcació a radio control, ambdues veles acostumen a disposar de botavara). El més a popa servirà per a la evacuació de la humitat o aigua que pogués introduir-se al interior eventualment, complint d'aquesta manera amb les regles de classe. Ambdós orificis es

segellaran adequadament per impedir que l'aigua pugui penetrar a l'interior del buc en condicions normals.

Com compliria amb les característiques de disseny definides anteriorment, s'accepta com a disseny vàlid el representat en les figures (45) i (46).

Coberta de proa

Es trobarà per sota de la línia de borda, per a afavorir la operació i el manteniment senzill de la embarcació i rebaixar VCG^{24} . Es crea a partir de la generació d'un conjunt corbes auxiliars i l'ús de l'eina *Superfície Desde Aristas* de *Rhinoceros 3D*. Per a adaptar la forma de la coberta al contorn del folre es creen superfícies deliberadament més amples que aquest, i després es retallen aquestes fent ús del mateix com a objecte de tall.

Es treballa només una meitat de la coberta. Un cop finalitzada la operació es fa servir la opció *reflejar* del *software* per a crear l'altra meitat. Finalment també es genera el registre per a la manipulació del maquinari de control. De dimensions adequades per a permetre l'entrada d'una mà humana i els components electrònics.

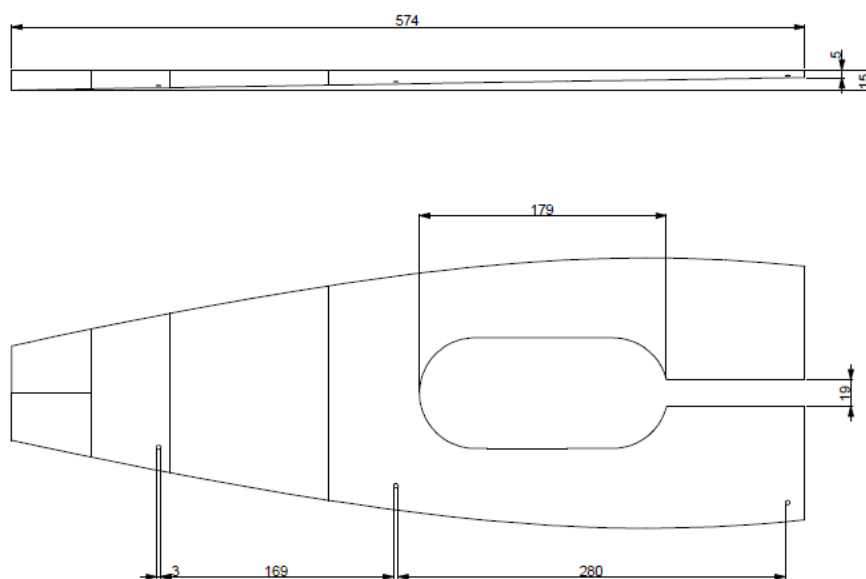


Figura 47: Formes i dimensions de la coberta de popa

²⁴ De l'anglès *Vertical Centre of Gravity*, posició vertical del centre de gravetat



Figura 48: Imatge renderitzada de la coberta de popa

El disseny representat en les figures (47) i (48) té les característiques de disseny establertes abans de l'inici del procés, per tant, es pot considerar definitiu.

Coberta de maquinari

Aquesta coberta servirà per a la instal·lació del maquinari electrònic per al govern de la embarcació

De delineat molt senzill: decidida l'altura a la que s'ubicarà la coberta, es genera un pla amb el *software* i s'utilitza el buc com a objecte de tall per a definir-ne la forma dels laterals de babord i estribord. Es pot dissenyar la peça sencera, i no en meitats; ja que la operació és força senzilla.

L'altura de la coberta de maquinari serà la suficient com per mantenir els equips electrònics de control per sobre d'una eventual acumulació d'aigua dins del local i està limitada per la coberta de popa. Es fa servir un model en tres dimensions dels servomotors que s'empraran per a crear els dos forats a través dels quals passaran els equips.

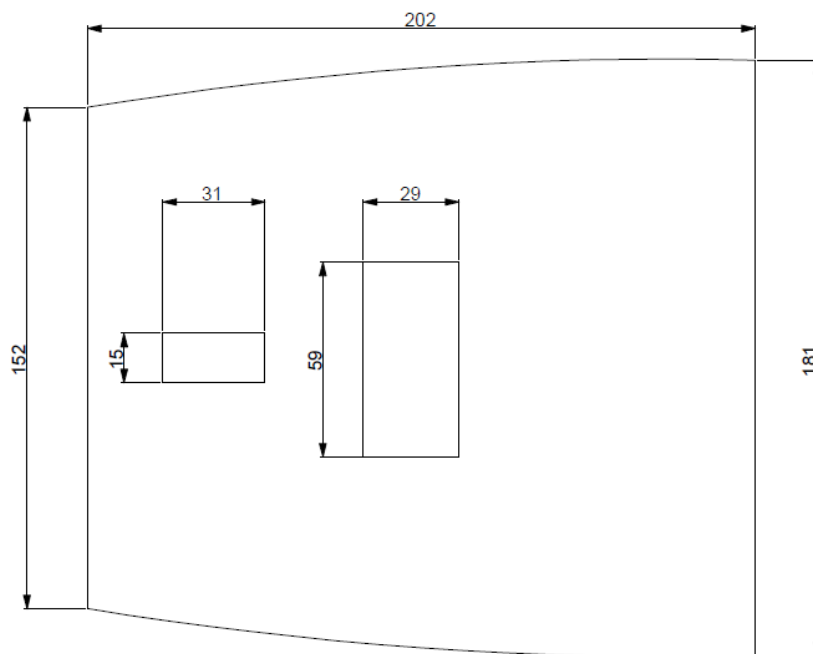


Figura 49: Forma i dimensions de la coberta de maquinari

3.2.4. Disseny de les mampares

En aquest apartat es descriu el procés seguit per al disseny de les mampares transversals que dividiran el volum intern de la embarcació en sots-compartiments. Poden anar dotats o no de registres i/o obertures. Les mampares transversals, a part de contribuir a la estanqueïtat i seguretat de la embarcació; aporten major resistència estructural i limiten la deformació del folre extern quan se'l sotmet a forces hidrostàtiques o hidrodinàmiques.

3.2.4.1 Metodologia de disseny per a les mampares

Com en el cas de les cobertes, l'operació de disseny de les mampares no comporta gran dificultat. La ubicació d'aquests evitarà la compressió del folre, que per les seves dimensions no estarà sotmès a grans pressions.

Definició de les característiques de disseny

les mampares hauran de tenir les característiques següents:

- S'ubicaran en posició transversal.
- Seran de nombre i forma tals que permetin el compartimentat del buc en diversos espais estancs independents al llarg de tota la eslora.
- Seran el més lleugers possibles.
- S'hauran d'integrar perfectament en l'espai tancat per les cobertes i el folre exterior.
- S'ubicaran de manera que limitin la deformació del folre en tota la eslora de la embarcació.
- Seran factibles de construir.

Modelat de les mampares

Per al disseny de les mampares es farà servir el *software Rhinoceros 3D*, i concretament; les eines *secció* i de *superfície plana*.

Es procedeix de la següent manera: havent decidit la ubicació longitudinal de les mampares, es crea una secció dels objectes del folre i de la coberta o cobertes presents en aquest punt. S'usa la funció *secció*. De seccionar aquestes dues superfícies se'n obtenen diverses línies que determinen el contorn extern de la mampara. Per tal de crear-ne una superfície s'usa l'eina *superfície plana*, que permet la creació d'una superfície sense curvatura a partir de tantes línies que generin una corba tancada i estiguin en un mateix pla.

Validació tècnica i criteri comparatiu

Un disseny de mampara es considerarà vàlid si és estanc. La senzillesa de la operació no justifica un procés de disseny extensiu.

3.2.4.1 Procés de disseny de les mampares i resultats

El primer pas és determinar la ubicació de les quatre mampares que s'empraran, determinant a la vegada el volum de cada compartiment estanc. Cal també tenir en compte que, a major distància entre mampares, major serà la limitació de la deformació del folre exterior. Cada mampara s'anomenarà amb un nombre correlatiu, sent el més baix el situat més a proa de la embarcació. S'opta per un total de quatre.

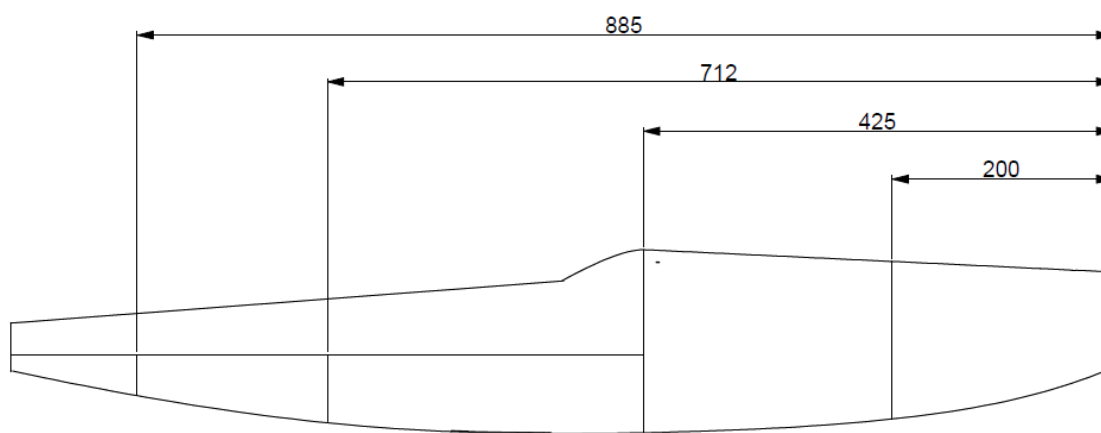


Figura 50: Distància de posicionament de les mampares transversals des de proa

Havent decidit el nombre i ubicació dels reforços es fa servir *Rhinoceros 3D* per a crear una secció de les cobertes i el folre exterior que definirà la forma de cada mampara. Aquesta secció es crearà a 200, 425, 712 i 885 mil·límetres des de la proa de la embarcació. Per a crear la superfície s'empra el comandament *Superfície plana*.

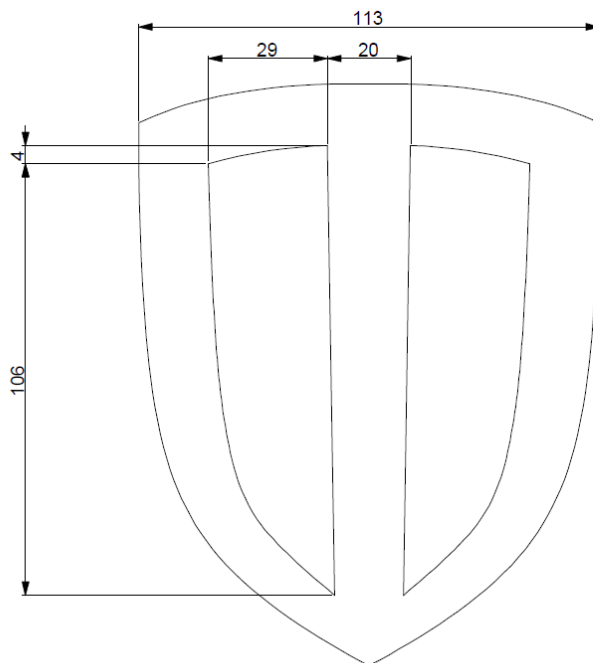


Figura 51: Formes i dimensions de la mampara 1

La mampara (1) complirà funcions únicament estructurals. La introducció dels dos orificis simètrics per a retirar material no susceptible d'estar sotmès a grans tensions permet la reducció de pes, en una zona on qualsevol addició tindria una gran influència en l'avançament de *LCG*. En aquesta situació, s'opta per sacrificar la creació d'un espai estanc i prioritzar el repartiment de pesos.

No es preveu la entrada d'aigua de cap manera possible per davant de la quaderna mestra per la no existència d'obertures del buc necessàries per a la quilla i el timó. Inclús en cas d'abordatge un impacte fort hauria de ser absorbit per el folre, i per normativa totes les embarcacions han de tenir els primers 10 mm des de proa d'un material elastòmer, que esmorteiria gran part de l'impacte transmetent menor energia al buc.

L'extrem superior arrodonit s'adapta a la curvatura de la coberta superior i suposa una base de suport per a aquesta.

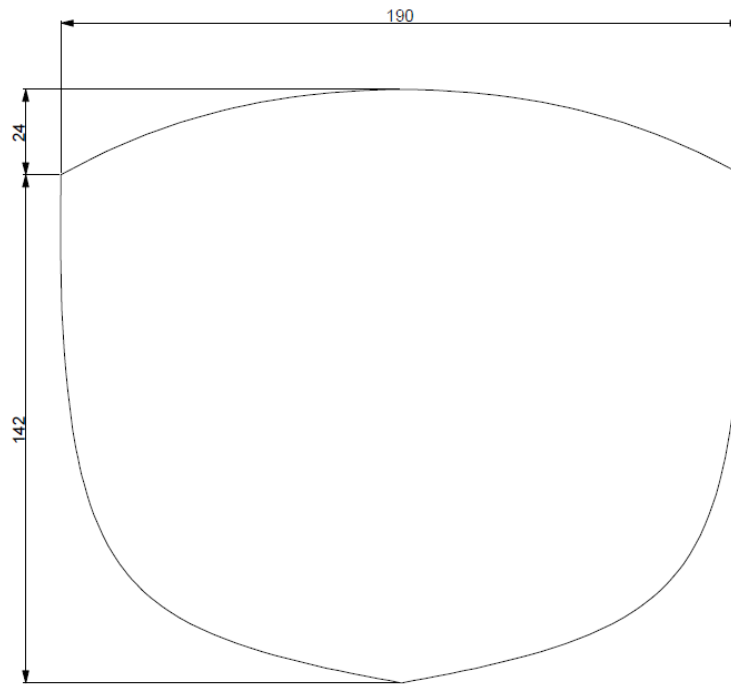


Figura 52: Forma i dimensions de la mampara 2

La mampara (2) s'ubica uns 75 mil·límetres a proa de la quaderna mestra. Aquesta sí que és completament sòlida, permetent la creació d'un compartiment estanc a proa de la mateixa. La posició queda determinada, en gran part, per el tall practicat en la coberta superior. Ha de quedar per davant per a poder crear l'espai hermètic.

L'extrem superior arrodonit s'adaptarà amb la coberta i suposarà una nova base de suport, complementant a la formada per la mampara (1) i el propi folre exterior.

La mampara (3) és la primera de les ubicades a popa de la quaderna mestra creant un nou compartiment estanc que serà el local per a la instal·lació del maquinari de govern, les bateries d'alimentació, electrònica i cablejat, i també on hi serà la caixa de la quilla. El tall de la forma superior serveix de base de suport per a la coberta inferior.

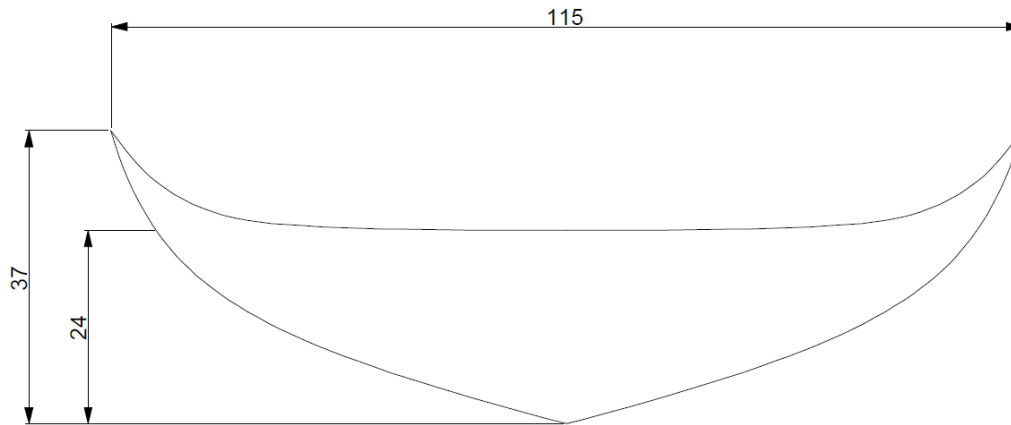


Figura 53: Forma i dimensions de la mampara 3

La última mampara (4) permet la creació d'un quart compartiment estanc petit en una zona on, per la existència de la llimera és possible que embarqui aigua de trencar-se aquesta. Mantenint aquest espai el més reduït possible es garanteix que la embarcació podrà seguir flotant encara la completa inundació d'aquest. La posició d'aquesta mampara s'ha enrederit deliberadament.

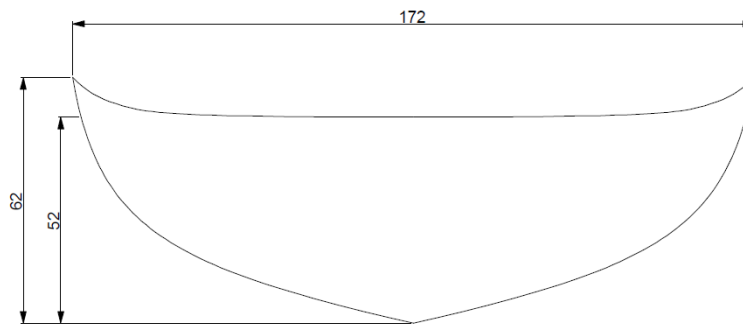


Figura 54: Forma i dimensions de la mampara 4

Tots els dissenys, a excepció de la mampara (1) compleixen les característiques de disseny establertes anteriorment, per tant es donen els dissenys com a vàlids. També el de la mampara (1) es considera vàlid ja que s'ha preferit un element més lleuger abans que un element estanc. No es preveu la necessitat de cap altre element per a conformar el buc i per tant aquest sots-procés conclou el procés de disseny d'aquest element.

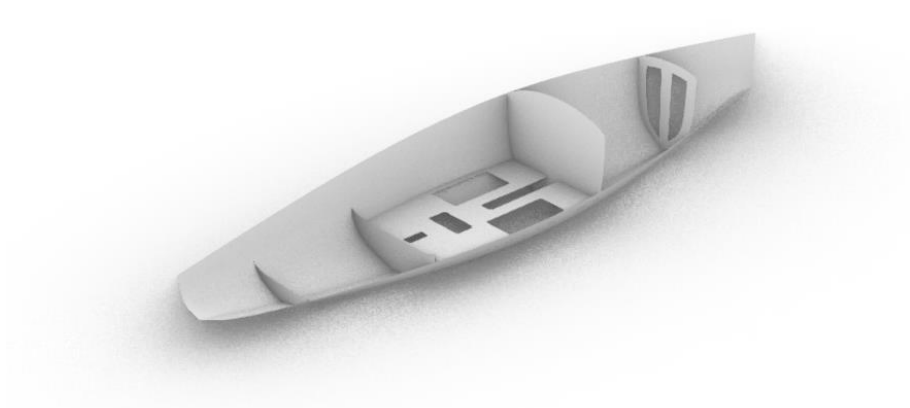


Figura 55: Buc amb les mampares i coberta d'electrònica ubicades

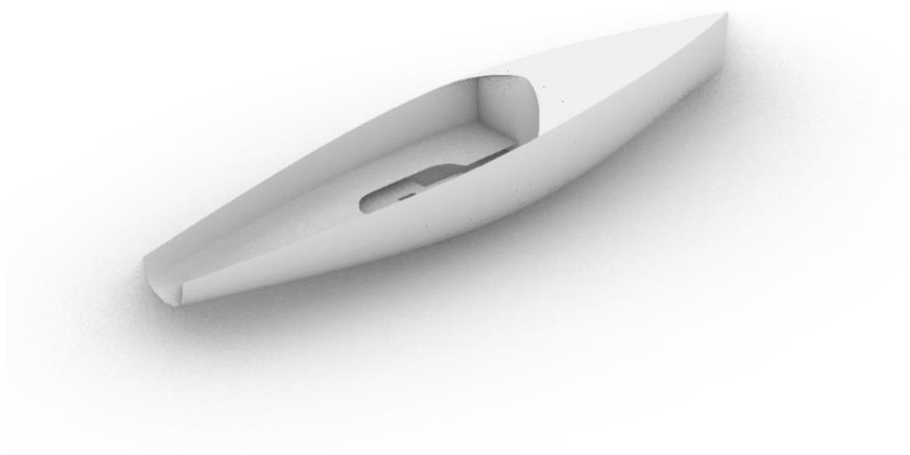


Figura 56: Buc amb les cobertes de proa i popa instal·lades

3.3. Materials de construcció, estimació de masses i posicionament d'elements

En aquest apartat es detalla el procés de selecció dels materials per a la construcció i el procediment seguit per a la estimació de les masses de tots els components previ al procés de posicionat necessari per al posterior disseny dels apèndixs i els elements que s'empraran per la fixació d'aquests al buc.

3.3.1. Elecció de materials per a la construcció

La massa de cada component del vaixell està relacionada amb la densitat del material que es triï per al posterior procés de construcció. Previ pas a la estimació de les masses cal assignar un material de construcció a cada element que conforma la embarcació. En aquest apartat es fa un resum de característiques, avantatges i inconvenients dels materials disponibles per a la construcció del buc (i tots els components que conformen aquest) i els apèndixs.

3.3.1.1 Materials per la construcció del buc

Les restriccions que estableix la normativa respecte als materials a tenir en compte per a la definició dels materials a emprar durant la fase de construcció es troben recollides a l'apartat D de la normativa de la classe IOM. Es pot consultar a l'apartat 2.2.4. *Secció D: Buc*, en aquest document.

En concret, l'article D.2.1 de les regles de classe estipula el següent:

"Subjecte a (b) i (c), el buc [...] haurà de ser construït i unit fent servir un o més del següents materials:

- 1. Metall.*
- 2. Fusta, productes basats en fusta que continguin només materials permesos.*
- 3. Resina, que pot ser tintada i/o reforçada amb fibra de vidre.*
- 4. Adhesiu.*
- 5. Vernís, pintura.*
- 6. Materials pel·liculars per al recobriments que poguessin estar reforçats amb fibres de polièster.*
- 7. Elastòmer.*
- 8. Termoplàstic, [...] que contingui només materials permesos.*

(IOMICA, 2017)

Per facilitar l'aprovisionament i la unió dels elements del buc; tots es construiran del mateix material. A excepció dels dissenyats expressament per a la subjecció i/o operació del apèndixs. El material tindrà gran influència en el posterior procés de fabricació, podent simplificar o, per contra; complicar la construcció del buc. També podrà economitza el procés, o encarrir-lo; de manera significativa; a més.

En vistes a mantenir el procés de construcció el més senzill possible, es descarta l'ús de metalls o fustes, així com l'ús de termoplàstics; per requerir el procés de manipulació d'aquests elements massa temps, tecnologies massa sofisticades i/o que puguin requerir una alta inversió econòmica.

L'únic material que permetrà la construcció del buc serà doncs la resina reforçada amb fibra de vidre. La fibra de carboni no està permesa. Els diferents components es podran unir fent ús de la mateixa resina amb el que es construeixin, o fent ús d'adhesius.

Materials compostos (Composites)

Un material compost (o *composite*) és l'ús de dos (o més) materials que, units; presenten propietats superiors a les que els materials "base" presenten.

En els materials compostos es poden diferenciar:

1. La matriu: o material que actua com a aglutinant
2. El reforç: material que afegeix resistència.

Aquests materials es caracteritzen principalment per l'alta resistència i baixa densitat que ofereixen; a part d'una flexibilitat idònia per a l'adquisició de formes. Les resines més emprades per a la construcció d'embarcacions son la resina de polièster, vinilèster i la resina *epoxi*.

La taula (26) resumeix les principals característiques mecàniques i el preu unitari dels tres tipus de resina.

	Polièster	Vinilèster	Epoxi	
Densitat	1,22	1,12	1,1	g/cc
Resistència a la tracció màxima	85	81	90	MPa
Mòdul d'elasticitat	4,8	3,5	7	GPa
Allargament al trencament	2,5	6	1,5	%
Preu unitari ²⁵	12,39	15,92	51,51	€/kg

Taula 26: Taula de característiques mecàniques i preu unitari dels diferents tipus de resines – *Naval Composites*

Es conclou que, si bé la resina epoxi seria la que tindria millors prestacions mecàniques, l'increment o disminució en quan a densitat i en quant a resistència a la tracció es troba per sota de l'11% en ambdues característiques. Pel que fa al mòdul d'elasticitat, la resina *epoxi* incrementa en un 100% el de la resina de vinilèster, i un 45% aproximadament el de la resina de polièster.

²⁵ Preu de venda sense IVA per a resines de marca *EURORESINS* i *WEST SYSTEM* consultats a *PINMAR YACHT SUPPLY, S.L* a data 2 de Maig de 2019.

No obstant, l'increment de preu de la resina epoxi respecte de la resina de vinilèster, la següent més cara; és d'un 223%. Sota aquest criteri comparatiu, i tenint en compte la escala de la embarcació; les millors prestacions mecàniques no compensen l'increment de preu i es descarta l'*epoxi* per a la construcció del buc.

El polièster, respecte a la alternativa en vinilèster resultarà un 10% més pesant; però la resistència a la tracció i el mòdul de resistència seran també superiors. Concretament un 4.9% i un 37% superiors, respectivament. El preu del polièster també és més avantatjós. La justificació anterior i el fet que la normativa obliga a reforçar les resines amb fibra de vidre, el material compost que s'emprarà per a la construcció del buc serà la resina de polièster reforçada amb fibra de vidre.

A un percentatge de 30% en pes en fibra de vidre, les prestacions a tenir en compte seran les següents:

Densitat	1,50	<i>g/cc</i>
Resistència a la tracció	288	<i>MPa</i>
Resistència a la compressió	188	<i>MPa</i>

Taula 27: Característiques mecàniques del polièster reforçat amb fibra de vidre – Grupo Gazechim Composites

3.3.1.2 Materials per la construcció dels apèndixs

Les restriccions sobre els materials per a la construcció dels apèndixs es pot trobar a la secció *E* de la normativa. Es pot consultar a l'apartat 2.1.5, *Secció E: Apèndixs del buc* en aquesta memòria escrita.

La única restricció que aplica en quant a materials és la densitat màxima que aquests poden tenir, sent de 11340 kg/m³. Aquesta restricció afecta únicament al material emprat per a la construcció del bulb. Per a aquest element cal cercar la major massa en el menor volum possible. Per tant, per a la construcció del bulb, s'emprarà plom. Existeix major llibertat a l'hora de triar materials per a la construcció de l'orsa i del timó. La normativa no estableix cap altra restricció a tenir en compte. Per al timó i per a l'orsa s'ha de fer ús d'un material d'alta resistència i pes específic baix. En ambdues parts el pes es troba restringit (no explícitament en el cas de l'orsa; però la necessitat d'un bulb de màxim pes possible comporta a la vegada una limitació intrínseca del pes d'aquesta).

El procés de construcció de les dues parts es també un factor de gran pes a l'hora de seleccionar el material adequat. Doncs es preveu la fabricació a través d'una impressora en tres dimensions per possibilitar la reproducció acurada de les formes complexes dels dos elements. Per tant, el material haurà de ser apte per a aquest propòsit, i a més; trobar-se disponible en filament per a la impressió en 3D.

S'opta per a fabricar l'orsa i el timó fent ús d'un material anomenat *CARBON-P*. Es tracta d'un filament de polietilè tereftalat reforçat al 20% en massa amb fibra de carboni. Això li atorga unes propietats mecàniques notòriament superiors a la dels filaments fabricats a partir del mateix termoplàstic base mantenint un pes específic molt baix.

Les característiques mecàniques del *CARBON-P* es poden consultar a la taula (28), a sota.

Pes específic	1,19	<i>g/cc</i>
Tensió de ruptura	52,5	<i>MPa</i>
Mòdul d'elasticitat	3800	<i>MPa</i>
Temperatura d'impressió	235	<i>°C</i>
Temperatura d'estovament	80	<i>°C</i>

Taula 28: Característiques mecàniques i tèrmiques del *CARBON-P – MCPP Mitsubishi Chemicals*

Amb l'ús d'un material més lleuger que pugui suportar els esforços susceptibles d'aparició en quilla i timó; es podrà disposar de un bulb més gran que maximitzi el parell adreçant; en el cas de la quilla; o disposar d'un timó més gran sense infringir el límit de massa màxima.

3.3.2 Estimació de masses

En aquest apartat es fa una estimació de les masses de tots els elements ja dissenyats fins al moment i dels que encara estan pendents de dissenyar.

Això possibilitarà, posteriorment; l'estudi de la posició que aquests hauran d'ocupar per tal que la posició de navegació de la embarcació sigui el més beneficiosa per a la minimització de l'arrossegament.

Fins al moment, es poden diferenciar tres conjunts d'elements diferents:

1. Components ja dissenyats (folre del buc, cobertes i mampares).
2. Components pendents de dissenyar-se (quilla, timó, i fixacions).
3. Components electrònics, veles i eixàrcia.

Per al primer tipus d'elements, l'estimació del pes s'efectuarà a partir de la determinació de l'espessor i en base al pes específic del material que s'emprarà en el posterior procés de construcció (resina de polièster reforçada amb fibra de vidre). El mateix càlcul servirà per determinar l'espessor exacte de cada element, prioritzant l'obtenció de components lleugers per davant d'altres característiques.

El segon tipus requerirà una estimació basada o bé en les limitacions de la pròpia normativa o bé en una altra estimació de quina serà la mida aproximada de l'element. Els components electrònics es compren ja fabricats i tenen un pes determinat, consultable a proveïdors especialitzats en electrònica per a modelisme.

3.3.2.1 Estimació de la massa dels components ja dissenyats i determinació d'espessors

Per al càlcul de la massa dels components que ja han estat dissenyats en els apartats previs es prenen els valors d'àrea de cada element fent ús de *Rhinoceros 3D* i es troba el volum d'aquests a partir de l'assignació d'un valor d'espessor que es modificarà fins a obtenir un valor satisfactori.

A partir del pes específic del polièster reforçat amb fibra de vidre es troba la massa de cada element. Inicialment s'optarà per a assignar un valor d'espessor de 2 mil·límetres a cada element per a trobar-ne el pes d'aquest.

Element	A (sq. cm)	t (cm)	V (cc)	PE (g/cc)	m (g)
Folre	3128,19	0,2	625,64	1,50	938,46
Coberta de proa	547,77	0,20	109,55	1,50	164,33
Coberta de popa	776,33	0,20	155,27	1,50	232,90
Coberta de servos	350,85	0,20	70,17	1,50	105,26
Mampara 1	77,72	0,20	15,54	1,50	23,32
Mampara 2	265,70	0,20	53,14	1,50	79,71
Mampara 3	63,94	0,20	12,79	1,50	19,18
Mampara 4	17,51	0,20	3,50	1,50	5,25
Totals Buc			1045,60		1568,40

Taula 29: Primera estimació de la massa dels elements que conformen el buc

En la taula (29) es pot consultar l'àrea (A) de cada element en centímetres quadrats, l'espessor (t), el volum (V) en centímetres cúbics, el pes específic (PE) i la massa final (m) en grams. El càlcul que mostra la mateixa es realitza amb l'espessor de tots els elements del buc configurat a 2 mil·límetres. Tenint en compte que es tendirà a una quilla de pes màxim permès, només aquest element en combinació amb el pes del buc ja serà superior al desplaçament de disseny. Cal, per tant; disminuir els espessors. El segon càlcul de masses es realitza amb les dades d'espessor exposades en la taula (30).

Element	A (sq. cm)	t (cm)	V (cc)	PE (g/cc)	m (g)
Folre	3128,19	0,18	563,07	1,50	844,61
Coberta de proa	547,77	0,15	82,17	1,50	123,25
Coberta de popa	776,33	0,15	116,45	1,50	174,67
Coberta de servos	350,85	0,15	52,63	1,50	78,94
Mampara 1	77,72	0,2	15,54	1,50	23,32
Mampara 2	265,70	0,2	53,14	1,50	79,71
Mampara 3	63,94	0,2	12,79	1,50	19,18
Mampara 4	17,51	0,2	3,50	1,50	5,25
Totals Buc			899,29		1348,94

Taula 30: Segona estimació de la massa dels elements que conformen el buc

Amb els canvis en els espessors s'obté una reducció del pes del buc de 219.46 grams. Però es considera que elements com les cobertes poden perdre encara més espessor. Sobre aquests elements no s'hi aplicarà cap càrrega, i per tant l'espessor no ha de ser massa elevat. Es considerarà l'espessor d'aquests dos elements de 1 mil·límetre i amb aquesta premissa es torna a fer el càlcul.

Element	A (sq. cm)	t (cm)	V (cc)	PE (g/cc)	m (g)
Folre	3128,19	0,18	563,07	1,50	844,61
Coberta de proa	547,77	0,1	54,78	1,50	82,17
Coberta de popa	776,33	0,1	77,63	1,50	116,45
Coberta de servos	350,85	0,15	52,63	1,50	78,94
Mampara 1	77,72	0,2	15,54	1,50	23,32
Mampara 2	265,70	0,2	53,14	1,50	79,71
Mampara 3	63,94	0,2	12,79	1,50	19,18
Mampara 4	17,51	0,2	3,50	1,50	5,25
Totals Buc			833,09		1249,63

Taula 31: Tercera estimació de la massa dels elements que conformen el buc

Aquesta disminució dels espessors permet una nova reducció del pes global del buc, ubicant-se ara en 1249,63 grams. La diferència ofereix el marge necessari per a la instal·lació de la electrònica, la eixàrcia i l'aparell vèlic; així com tot el conjunt de ferramentes necessàries per a la maniobra de la embarcació.

3.3.2.2 Estimació de la massa dels apèndixs

Per als elements pendents de ser dissenyats no es pot estimar la massa només a partir de la densitat del material a emprar per a la fabricació. Cal també estimar el volum que aquests ocuparan una vegada dissenyats. La normativa estipula uns pesos mínims i/o màxims a complir. En concret:

1. Per a la quilla, la massa mínima serà de 2200,00 grams i la màxima de 2500,00.
2. Per al timó, el pes màxim serà de 75 grams.

D'un desplaçament total de 4000,00 grams; el buc en suposarà uns 1249.63. La diferència, de 2750,37 grams; ha de comprendre el pes dels elements pendents de ser dissenyats, i cal tenir present el pes de veles, eixàrcia i electrònica que, malgrat no siguin objecte del present treball, en una embarcació completada hi serien presents.

El pes del bulb es considerarà 2200,00 grams. Amb aquest pes mínim es garantirà el compliment de la normativa. Per a la estimació del pes de l'orsa es considerarà que aquesta es comprendrà en una caixa de 70 x 8 i altura 400 mil·límetres, i hauria de ser inferior a 300 grams. S'establirà com a restricció que els elements que es dissenyin per a la fixació de la quilla al buc no superin els 75 grams.

Per a estimar el pes del timó es procedirà de manera semblant: Es comprendrà el timó en una caixa de 40 x 4 i altura 150 mil·límetres. A continuació es procedeix segons descrit anteriorment. Per acabar, també s'establirà com a restricció que la massa de tots els elements per a la fixació del timó al buc i l'accionament d'aquest no superi els 25 grams.

Les masses estimades de cada element es recullen a la taula (32), a sota.

	m (g)
Orsa	266,56
Bulb	2200
Fixació de la quilla	75
Timó	28,56
Fixació i accionament del timó	25
Total apèndixs i fixacions	2595,12

Taula 32: Estimació de la massa dels apèndixs i els seus elements auxiliars

La estimació del pes dels apèndixs deixa un marge disponible de 155,25 grams per a la resta de components (electrònica, veles i eixàrcia).

3.3.2.3 Estimació de la massa de components electrònics, veles i eixàrcia

Al ser elements disponibles al mercat, es pot consultar el pes de cadascun d'aquests elements a un proveïdor especialitzat en modelisme naval. El pes de les veles es considera negligible.

	m (g)
Bateria Maxpro LiPo 910 mAh 7,4V	48
Servomotor Futaba S3071HV (winch)	42
Servomotor Futaba Micro S3776SB (timó)	10
Receptor Futaba R-2104GF 2,4 GHz	8
Pal	81,2
Botavara Floc	23,2
Botavara Major	23,2
Total electrònica, i aparell vèlic	235,6

Taula 33: Estimació de la massa dels components electrònics, veles i aparells

La suma de les tres estimacions és de 4080,35 grams totals. La estimació superaria en 80,35 grams el desplaçament de disseny del buc. No obstant, es considerarà vàlida considerant que:

1. El disseny del buc contemplava un marge de seguretat en el calat.
2. La estimació de volums, i per conseqüència de la massa s'ha realitzat a l'alça.
3. La estimació no contempla pèrdues en la massa del bulb per la inserció de la orsa.

Una vegada dissenyats els components restants, el pes hauria de ser inferior. Es prendran els valors obtinguts d'aquesta estimació com a característiques de disseny per al dimensionat dels apèndixs. També

es prendran els valors d'aquesta estimació per al càlcul del posicionament dels components de la embarcació respecte del buc.

3.3.3 Posicionat d'elements

Es procedeix a l'estudi del posicionament de cada element a partir de la influència de cadascun sobre la posició longitudinal del *LCG*. Les masses s'ubicaran amb la premissa que aquest es trobi just a la mateixa vertical que *LCB*, o a popa però el més a prop de la vertical d'aquest últim. Per al càlcul del *LCG* es fa servir el teorema de moments: el moment resultat es igual a la suma de moments.

$$LCG = \frac{\sum M}{Dt}$$

Equació 9: equació per al càlcul de *LCG* – *Manual de teoria del buque*

On:

1. *LCG*: és la posició longitudinal del centre de gravetat.
2. $\sum M$: és el sumatori de tots els moments produïts per cadascuna de les masses dels elements que conformen la embarcació.
3. *Dt*: és el desplaçament total de la embarcació.

Cada element de la embarcació provocarà un moment de rotació que tindrà com a centre un punt concret d'aquesta, al trobar-se una massa separada d'aquest per un braç. Aquesta distància *x* serà positiva quan es trobi a popa del punt inicial, i negativa quan estigui a proa. Es considerarà l'origen per al *LCG* el punt corresponent a 0,5 *LOA*.

La ubicació dels elements respecte del buc s'indicarà fent referència a *LCG* de cada element. Només es considera aquest paràmetre per al posicionat dels elements. En la taula (34) s'exposa el càlcul dels moments de cada element. Per als elements ja dissenyats (components del buc) es pren la posició de *LCG* a partir de la opció *Centroide de volumen* de *Rhinoceros 3D*. Per als elements encara no dissenyats i electrònica s'ajustarà aquest paràmetre per a que *LCG* global de la embarcació sigui el desitjat.

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)
Folre	844,61	8,28	499,70	-0,20	-1,66
Coberta de proa	82,17	0,81	294,20	205,30	165,31
Coberta de popa	116,45	1,14	693,10	-193,60	-220,94
Coberta de servos	78,94	0,77	578,60	-79,10	-61,19
Mampara 1	23,32	0,23	199,80	299,70	68,48
Mampara 2	79,71	0,78	425,30	74,20	57,96
Mampara 3	19,18	0,19	712,10	-212,60	-39,97
Mampara 4	5,25	0,05	88,48	411,02	21,16
Orsa	266,56	2,61	524,80	-25,30	-66,09
Bulb	2200	21,56	519,30	-19,80	-426,89
Fixació Orsa	75	0,74	477,70	21,80	16,02
Timó	28,56	0,28	959,80	-460,30	-128,83
Fixació Timó	25	0,25	944,80	-445,30	-109,10
					0,00
Servomotor Veles	42	0,41	671,80	-172,30	-70,92
Servomotor Timó	10	0,10	615,00	-115,50	-11,32
Bateria	48	0,47	477,20	22,30	10,49
Receptor	8	0,08	571,10	-71,60	-5,61
					0,00
Pal i botavares	127,6	1,25	499,50	0,00	0,00
Totals	4080,35	39,99	-	-	-803,07

Taula 34: Càlcul dels moments aplicats per cada element sobre 0,5 LOA i totals

Per a calcular *LCG* amb aquesta disposició dels elements es procedeix com segueix:

$$LCG = \frac{\sum M}{Dt} = \frac{-803.07}{39.99} = -20.08$$

Equació 10: càlcul del centre de gravetat longitudinal respecte 0,5 LOA

Amb el posicionat descrit a la taula (34) *LCG* de la embarcació es trobaria 20,08 mil·límetres a popa de la quaderna mestra. Tenint en compte que *LCB* de la embarcació es troba 15,3 mil·límetres per darrere del mateix punt, amb aquesta disposició es complirà la condició que es pretenia abans d'iniciar el posicionament. Aquest càlcul es basa en una estimació. Un cop dissenyats tots els components finals la massa dels elements i/o la ubicació del centre de gravetat d'aquests pot diferir de la estimada. Sempre es

podran corregir possibles desviacions a partir de la ubicació final dels components electrònics, i amb llast; de ser necessari. Doncs la normativa ho permet. A partir de les ubicacions indicades es procedeix al disseny dels apèndixs, ubicant aquests en les posicions calculades.

3.4. Disseny d'apèndixs

En aquest apartat es descriuen tots els sots-processos seguits per al disseny del bloc d'apèndixs que per normativa i/o necessitat ha d'equipar la embarcació.

La normativa *IOM* obliga a l'ús de, i només de:

1. Una quilla, formada per un bulb i una aleta o orsa.
2. Un timó.

3.4.1 Normativa aplicable

La normativa aplicable es pot consultar en l'apartat 2.1.3. *Secció C: Condicions de regata* i en l'apartat 2.1.5 *Secció E: Apèndixs del buc*.

3.4.2 Disseny de la quilla

En aquest apartat es descriu el procediment seguit per al disseny de la quilla.

La funció principal de la quilla és la de reduir l'abatiment de la embarcació a la vegada que permet l'addició de pes en la part inferior de la embarcació, reduint l'altura del centre de gravetat i ajudant a compensar l'escora produïda per la incidència del vent sobre l'aparell.

Es compon de dos elements: una aleta, o orsa; i un contrapès, més conegut com a bulb. L'orsa dificulta l'abatiment: fa que augmenti la resistència transversal de la embarcació amb l'aigua i que per tant a aquesta li resulti més senzill avançar en direcció longitudinal. També es tracta d'un element estructural, unint el bulb amb el buc. El bulb es un contrapès ubicat a la part inferior de l'orsa. L'objectiu d'aquest és reduir *VCG* al màxim possible per maximitzar la magnitud dels braços d'adreçament provocats per la escora de la embarcació.

3.4.2.1 Metodologia de disseny de la quilla

El procés de disseny de la quilla tindrà dos fases: el modelat de la quilla en si i el posicionament d'aquest en la posició calculada (veure apartat 3.3 *Posicionament d'elements*). Es seguirà novament un procés iteratiu, prenent com a base per a modificacions resultats satisfactoris (o ben encaminats) obtinguts anteriorment, així fins obtenir el resultat més òptim.

Definició de les característiques de disseny

El disseny de la quilla complirà les característiques següents:

- Complirà amb les restriccions específiques per a la quilla estipulades per les regles de classe *IOM*.
- Complirà amb les restriccions de la normativa per al conjunt global de la embarcació (calat).
- Tindrà una massa i un disseny pensat per a maximitzar la estabilitat de la embarcació.
- Resistirà els esforços estructurals a la que està sotmesa.

La quilla es compon de dos elements: el bulb i la orsa. Cada element té les seves característiques de disseny específiques.

Pel que fa al bulb:

- Tindrà una secció longitudinal i vertical en forma de perfil NACA 0015.
- Tindrà un volum suficient com perquè el pes sigui no inferior a 2200,00 grams construït en plom.
- Tindrà una cavitat per a l'encaix de l'orsa.
- Serà factible de construir.
- LCG del bulb ocuparà la posició calculada en l'apartat 3.3 de la present memòria.

I per a l'orsa:

- Tindrà una superfície suficient per evitar l'abatiment en condicions determinades.
- Tindrà el menor espessor possible.
- Tindrà un disseny i espessor suficients com per resistir els esforços estructurals generats.
- Tindrà un disseny i espessor que garanteixin una flexió inferior al 5% de la longitud de la quilla.
- Serà factible de construir.
- LCG de la orsa ocuparà la posició calculada en l'apartat 3.3 de la present memòria.

Modelat de la quilla

S'emprarà el *software Rhinoceros 3D* per al modelat de la orsa i del bulb, seguint dos procediments diferents per a cada tipus.

Per al dibuixat del bulb, es genera una corba corresponent a una mitja secció del bulb, de forma adient i es revoluciona 360 graus. Aquesta operació genera el volum de l'element. A continuació s'escala adequadament per a que el volum tingui el mínim necessari. Per últim es posiciona de manera que el punt més baix d'aquest correspongui a la dimensió de calat màxim permès per la normativa. La posició longitudinal s'ajusta per a que coincideixi amb la ubicació estudiada en l'apartat 3.3.

La orsa es dibuixa creant una corba que representa una mitja secció vertical i els extrems d'atac i de sortida, i es crea mitja superfície a partir de la opció *barrido por dos carriles*. Per a generar l'altre meitat, es fa servir *reflejar*.

Validació tècnica i criteri comparatiu

En el cas de la quilla, si que caldrà un procés de validació tècnica basat en la comparació amb dissenys previs.

Per al cas del bulb es considerarà el disseny vàlid si compleix amb les característiques de disseny especificades anteriorment. El procés de disseny iteratiu consistirà en adaptar el volum al mínim necessari (*Rhinoceros 3D* no permet escalar en volum).

La orsa si que seguirà un procés de validació tècnica més elaborat. Aquesta ha d'acomplir diverses funcions que possibiliten la navegació de la embarcació. Després de garantir que compleix les normes de classe, es comprovarà que l'orsa disposa de la superfície longitudinal mínima, calculant l'àrea projectada sobre el pla longitudinal de l'embarcació d'aquesta. Posteriorment s'estudiarà si el disseny suportarà o no els esforços estructurals als que estarà sotmès, i si la flexió que patirà es troba dins del marge acceptable. Per últim es valorarà si existeix possibilitat de reduir l'espessor o no.

El procés de validació tècnica de l'orsa es resumeix en la figura (57) a sota.

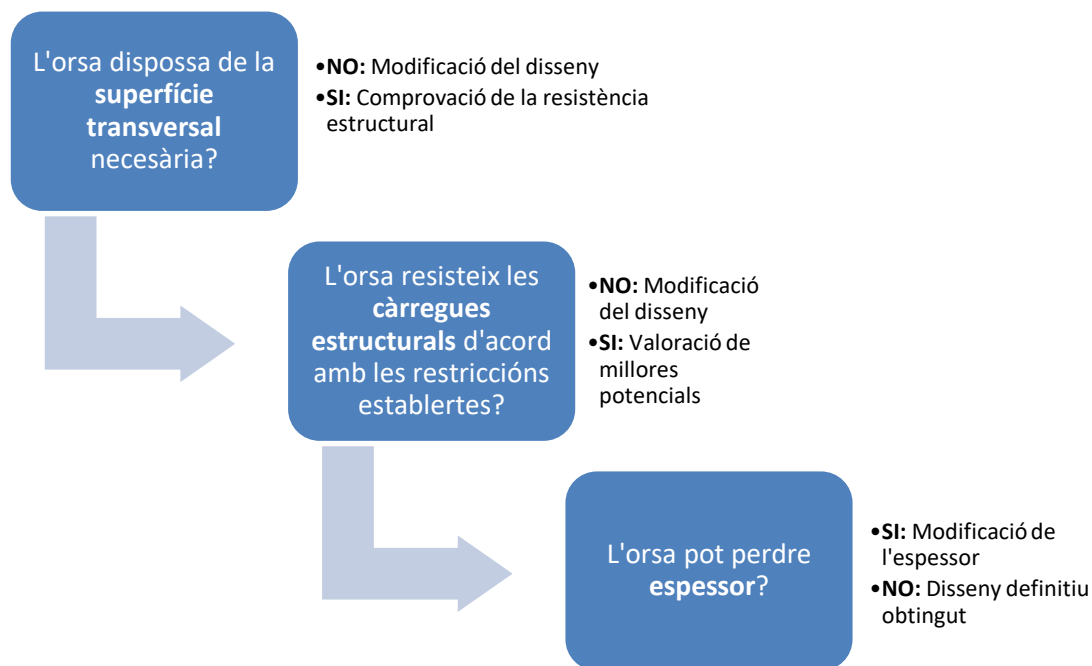


Figura 57: Esquema resum del criteri d'acceptació del disseny de l'orsa

3.4.2.2 Procés de disseny de la quilla i resultats

En el següent apartat s'exposa el procediment seguit per al disseny de la quilla, així com els diferents resultats obtinguts.

Procés de disseny del bulb

El procés de disseny del bulb consistirà en el dibuixat d'una forma NACA 0015 i la creació d'un volum a partir d'aquesta.

Aquest procés disposarà dels següents passos:

1. Determinació del volum mínim.
2. Dibuixat del bulb i verificació.
3. Validació tècnica .
4. Re-disseny.

Determinació del volum mínim del bulb

Una forma de complir la restricció de massa mínima establerta per les regles de classe es igualar el pes del bulb a 2200 grams, límit inferior per a aquesta característica. Cal tenir present que la orsa tindrà el seu pes també i que la massa del conjunt de la quilla no pot ser superior a 2500 grams. Un bulb més lleuger tindrà menys arrossegament i també permetrà reduir l'espessor de l'orsa, posteriorment. Això beneficiarà també la resistència a l'avanç del conjunt de la embarcació.

El càlcul del valor mínim del volum del bulb és senzill, podent-se obtenir a partir de la relació existent entre massa, volum i densitat:

$$m = \rho \cdot V$$

Equació 11: relació entre massa, volum i densitat

On:

- 5. m és la massa del bulb.
- 6. ρ és la densitat del plom.
- 7. V és el volum del bulb.

Per simplicitat a l'hora de fer servir *Rhinoceros 3D*, prèviament configurat per a treballar en unitats de centímetres; es prendrà com a valor de la densitat 11.34 g/cm³.

$$m = \rho \cdot V \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{2\,200}{11.34} = 194.0035$$

Equació 12: Càlcul del volum del bulb en cm³

Per tant, el volum del bulb per de garantir una massa mínima de 2200 grams haurà de ser no inferior a 194,0035 cm³. No obstant, caldrà tenir en compte que sobre el bulb es practicarà una remoció de material per tal de fixar l'orsa, així com altres factors relacionats amb la precisió del procés de fabricació que puguin afectar el pes del bulb. Es fixa per tant un llindar de seguretat d'entre cinc (5) i deu (10) centímetres cúbics per a cobrir aquests possibles errors.

Donada l'alta densitat del bulb, l'error comés en el pes es trobaria entre 56,7 i 113,4 grams, però un cop acabat el procés de fabricació, en cas que s'observés que el pes del bulb supera el valor desitjat sempre es podrà retirar material fregant el bulb.

Delineat del bulb

Determinat el volum mínim es procedeix a realitzar el delineat d'aquest a *Rhinoceros 3D*.

El primer pas consisteix a crear el contorn d'un perfil hidrodinàmic *NACA0015* a partir d'una línia per punts de control.

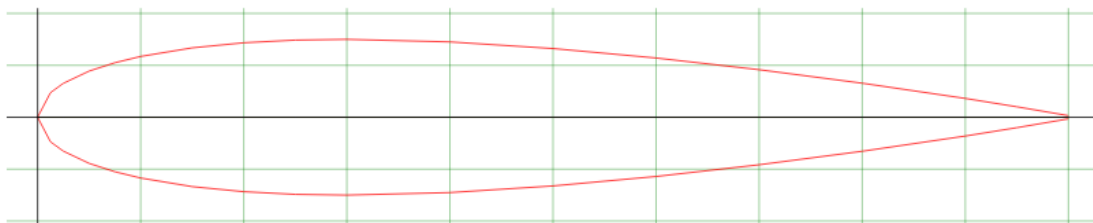


Figura 58: Perfil NACA0015 - Air Foil Tools

Aquest perfil es caracteritza per la forma de gota d'aigua, i l'ample màxim està fixat a un 15% del total de la longitud i aquest (ample màxim) es troba ubicat a 3/10 de la longitud total.

Dins de *Rhinoceros 3D* es crea una línia recta de longitud 10 centímetres i partint des de l'origen de coordenades ($x = 0$, $y = 0$) es crea una perpendicular al punt $x = 3$ de longitud 1,5 (en aquest cas, fent servir les mateixes unitats emprades per a la línia recta). A continuació es crea una línia corba suau a partir de punts de control imitant la forma del perfil. A partir de l'arrossegament dels punts en el pla XY es pot ajustar la forma de la corba fins a obtenir un resultat satisfactori.

Una vegada obtinguda la corba generatriu desitjada es procedeix a crear el volum revolucionant aquesta corba 360 graus sobre l'eix X .

Per tal d'obtenir el volum final desitjat es calcula el volum de la figura obtinguda, i posteriorment s'escala fent servir l'eina *escalar*. Aquesta funció permetrà redimensionar el bulb per a trobar ràpidament el volum mínim desitjat a partir de la introducció d'un factor d'escala. El procés és iteratiu, cal repetir-lo fins a trobar la mida necessària de l'element fent servir en paral·lel la opció *volumen*.

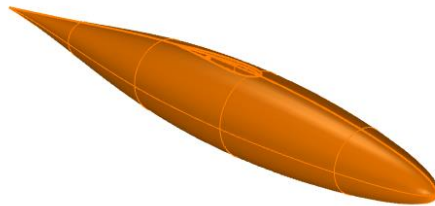


Figura 59: Obtenció del bulb amb *Rhinoceros 3D*

L'últim pas del procés de disseny del bulb és ubicar-lo en la seva posició final determinada en l'apartat 3.3. La base d'aquest es situa a 417 mil·límetres, deixant el mateix marge d'error que per al buc. Per a ubicar-lo correctament en la seva posició longitudinal es busca el centre de gravetat mitjançant *Centroide de volumen*. S'agrupen el bulb i el punt i es mou aquest conjunt a la coordenada pertinent prenent com a referència per al moviment el punt, no el bulb.

Procés de disseny de la orsa

L'orsa complirà principalment dues funcions:

1. Unir el bulb amb el buc.
2. Evitar l'abatiment de la embarcació.

Per complir adequadament amb el primer propòsit, el disseny i la dimensió transversal (espessor) de l'orsa hauran de ser aquells que resisteixin els esforços i que evitin que flecti per sobre del límit establert com a

característica de disseny. També haurà de tenir la superfície longitudinal necessària per a evitar la deriva excessiva de la embarcació.

Determinació de la superfície mínima de la orsa

La superfície longitudinal de l'orsa defineix la mida mínima que aquest element haurà de tenir considerant que la dimensió vertical la limita la normativa i ha de ser màxima per a maximitzar la estabilitat. Per a trobar la superfície mínima de l'orsa es necessita la realització d'un estudi que determini totes les forces que contribueixen a l'aparició de l'abatiment i les que ofereixen resistència contra ell.

Aquest estudi es realitza assumint les següents condicions:

- Condições de navegació amb vent de través (perpendicular a l'eix de cruïxa).
- Condições de navegació sense escora.
- Velocitat màxima del vent de quinze nusos.
- Velocitat d'abatiment màxima d'un metre per segon.
- Navegació en aigua dolça.

En una situació tal, les forces d'abatiment es maximitzen ja que la superfície contra la que es projecta el vent es màxima, i (per la velocitat del vent) en condicions de vent moderat.

Es consideren forces d'abatiment:

- La força del vent exercida sobre la superfície vèlica projectada sobre el pla normal a aquesta.
- La força del vent sobre l'obra morta.

Es consideren forces de resistència (oposades) a l'abatiment, i quan la embarcació es desplaça lateralment a la velocitat d'un nus:

- La exercida per l'aigua sobre l'obra viva.
- La exercida per l'aigua sobre el bulb.
- La exercida per l'aigua sobre l'orsa.

Les forces exercides per vent o aigua sobre cada element es calculen fent servir l'expressió següent:

$$F = 0.5 \cdot Cd \cdot Sp \cdot \rho \cdot V^2$$

Equació 13: càlcul de la força d'un fluid projectat sobre una superfície

On:

- F : és la força del vent o de l'aigua
- Cd : és un coeficient que depèn de la forma i prendrà valors de 1,17 per a veles, obra viva i orsa; i de 0.5 per a bulb i obra morta.
- Sp : és la superfície sobre la que es projecta el vent o l'aigua.
- ρ : és la densitat del vent o de l'aigua.
- V : és la velocitat del vent, o la velocitat d'abatiment.

Les superfícies projectades de cada element en qüestió es calculen fent servir la operació *àrea* dins del *software Rhinoceros3D*. I es té en compte la projectada sobre el pla longitudinal (tots els elements tenen volum).

Element	àrea (cm ²)	Cd	F (N)
Superfície Vèlica	5185,32	1,17	23,44
Obra Morta	756,32	1	2,92
Obra Viva	394,05	0,5	9,83
Bulb	80,87	0,5	2,02

Taula 35: Forces d'abatiment i de resistència a aquest

És possible determinar una igualtat a partir de la segona llei de *Newton*: quan la velocitat d'abatiment de la embarcació sigui de, màxim, un nus; amb vents de través de velocitat màxima quinze nusos, la força de l'aigua sobre tots els element de la obra viva igualarà la força del vent i per tant la velocitat d'abatiment es mantindrà constant, ni creixerà ni decreixerà.

Per tant, la força exercida per l'aigua sobre la orsa haurà es regirà per la següent igualtat:

$$F_{om} + F_{sv} = F_{ov} + F_b + F_o$$

Equació 14: Igualtat de forces que eviten l'abatiment d'una embarcació

On:

- F_{om} : és la força exercida pel vent sobre la obra morta.
- F_{sv} : és la força exercida pel vent sobre la superfície vèlica.

I en condicions d'abatiment a un nus:

- F_{ov} : és la força exercida per l'aigua sobre la obra viva.
- F_b : és la força exercida per l'aigua sobre el bulb..
- F_o : és la força exercida per l'aigua sobre la orsa.

D'aquesta equació i els valors mostrats en la taula (35) es dedueix que la força que haurà d'exercir la orsa serà de 14.51 *Newtons* (N).

Coneixent la força que haurà d'exercir l'aigua sobre l'orsa, es pot trobar la superfície mínima de la que ha de disposar l'orsa:

$$F_o = 0.5 \cdot C_d \cdot S_p \cdot \rho \cdot V^2 \rightarrow S_p = \frac{F_o}{0.5 \cdot C_d \cdot \rho \cdot V^2}$$

Equació 15: Superfície mínima de la orsa per a evitar l'abatiment

Per tant, la superfície de la orsa, tenint en compte la igualtat anterior haurà de ser de 0.0248 m². Per condicions de treball, *Rhinoceros3D* s'ha configurat per a treballar en centímetres, per tant; el valor que es prendrà com a mínim durant el delineat de la orsa serà de 248 cm².

Delineat de la quilla: proposta "Keel I"

El diàmetre del bulb (40 mil·límetres) i el calat del buc (57) determinen la dimensió vertical màxima de la orsa: 322 mil·límetres. Es deixa un marge d'error per a la fase de construcció, d'uns 3 mil·límetres. Per tant, l'altura de l'orsa serà de 319 mil·límetres. Per al delineat de l'orsa es parteix de nou d'un perfil *NACA0015* que s'escala per a definir les seccions verticals superiors i inferiors de l'orsa. Les dues seccions s'uneixen a la part de proa i popa amb dues rectes. Com abans de generar el model 3D s'ha de comprovar el disseny fent ús d'un *software* diferent, només s'empren corbes i no es generen superfícies. També es crea una representació del bulb amb corbes. El model s'anomenarà *Keel I*. S'exporta aquest en format *.iges*.

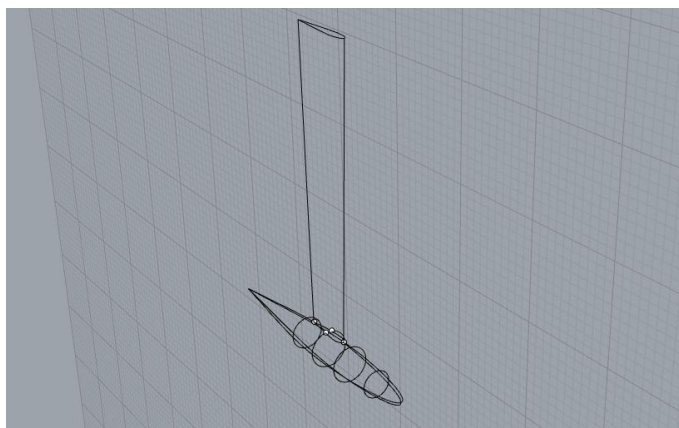


Figura 60: Obtenció de la primera proposta de quilla amb *Rhinoceros 3D*

Validació tècnica de la proposta Keel I

El primer pas és comprovar que la quilla compleix totes les restriccions dimensionals establertes com a característiques de disseny.

	Màxim	Mínim	<i>Keel I</i>
Altura (en mm)	363	313	361
Ample entre altura 0 i -303 (en mm)	20	n/a	10
Superfície longitudinal orsa (en mm²)	n/a	24800	21900

Taula 36: Màxim, mínim i valor obtingut en *Keel I* per a les característiques subjectes a restricció

En la taula (36) s'observa com la superfície longitudinal de l'orsa no es troba per sobre del valor mínim, i per tant; el disseny requereix una modificació per a assegurar l'acompliment d'aquesta dimensió. No obstant, es procedeix amb l'anàlisi estructural de l'orsa per comprovar si cal redefinir les dimensions o el disseny també per a millorar la resistència mecànica del component.

S'usa el *software Tdyn*, que permet efectuar simulacions del comportament d'estructures sotmeses sota un conjunt de càrregues determinat.

S'importa l'arxiu *.iges* del disseny *Keel I* i es generen les superfícies i el volum.

D'acord amb l'angle considerat màxim en les fases de disseny del buc, es prendrà de nou l'angle de 70 graus com a angle de navegació màxim possible. Per a simular aquesta situació, dins la finestra de dades de simulació del *software* es modifiquen les components del vector gravetat. Es troben per semblança de triangles. Tenint en compte que el *software* pren l'eix Z com a eix vertical i l'eix Y com a eix perpendicular a la cruïxa; en situacions d'angle d'escora setanta (70) graus:

1. La component Y de la gravetat serà 0.939 vegades el valor de la gravetat (9.8 m/s^2).
2. La component Z de la gravetat serà 0.342 vegades el valor de la gravetat.

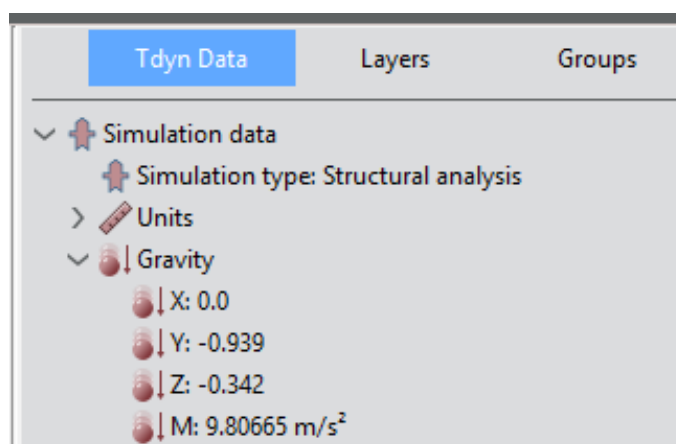


Figura 61: configuració dels paràmetres de gravetat a *Tdyn*

Havent fixat les components de la gravetat, es procedeix a restringir els desplaçaments i rotació de la cara superior del sòlid que conforma l'orsa. Aquesta cara correspon a la que anirà unida al buc, o a l'estructura de la fixació de l'orsa; i per tant, en ella no es produirà cap moviment en cap eix (X, Y o Z) ni cap rotació en els mateixos.

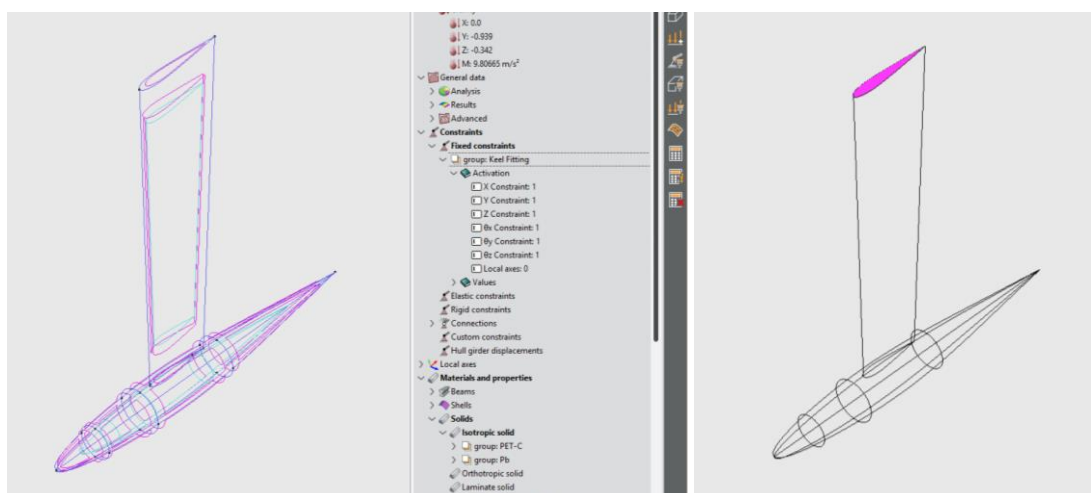


Figura 62: Configuració de les restriccions de moviment i rotació

El següent pas consisteix a configurar els dos materials per a l'estudi estructural. Per a definir un material cal introduir dins la finestra de dades de simulació les següents característiques mecàniques:

3. El mòdul d'elasticitat o mòdul de *Young* (E).
4. El coeficient de *Poisson* (ν).
5. El pes específic del material.

S'empren les dades de materials determinades a l'apartat 3.3.1.2 *Materials per a la construcció dels apèndixs*. Es creen els materials, introduint les característiques mecàniques al *software* i s'assigna el material corresponent als sòlids de l'orsa i del bulb. CARBON-P per a l'orsa i plom per al bulb.

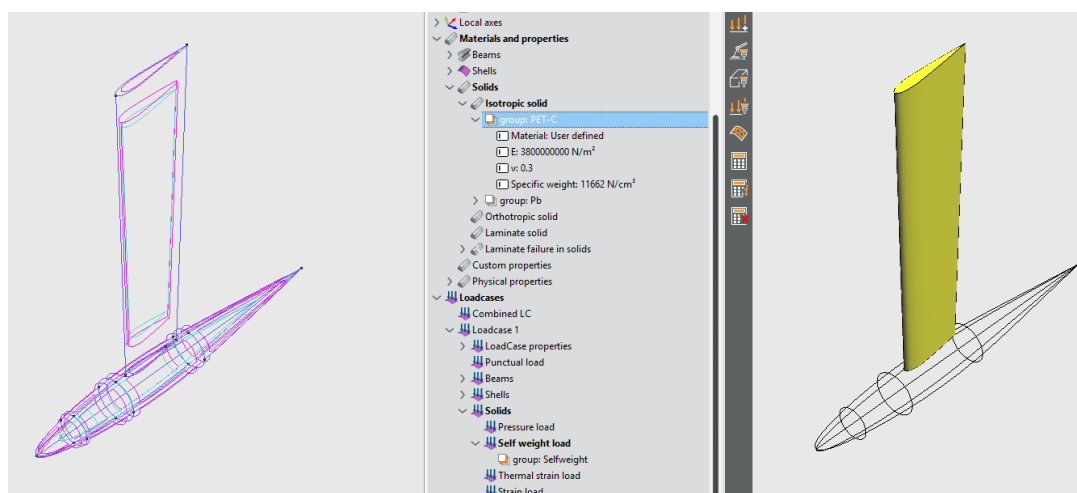


Figura 63: Definició del CARBON-P com a material i assignació d'aquest a l'orsa

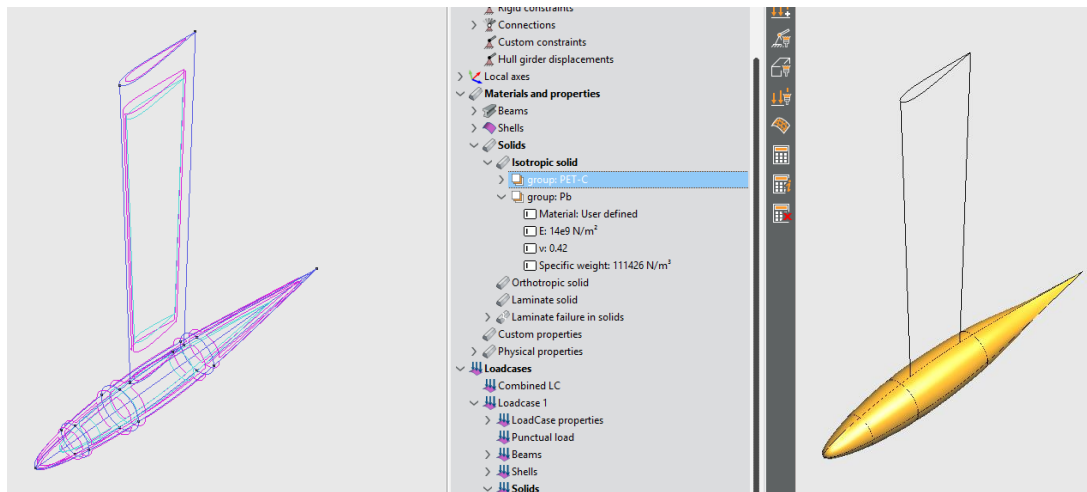


Figura 64: Definició del plom com a material i assignació d'aquest al bulb

Per últim, abans de la generació del mallat; es procedeix a definir les càrregues que actuen sobre la quilla en les condicions d'escora definides anteriorment. Debut a que no s'estan considerant forces hidrostàtiques o hidrodinàmiques, la única càrrega a considerar és el pes propi dels components de la quilla. S'introdueixen les dades corresponents a la finestra de dades de simulació del *software*.

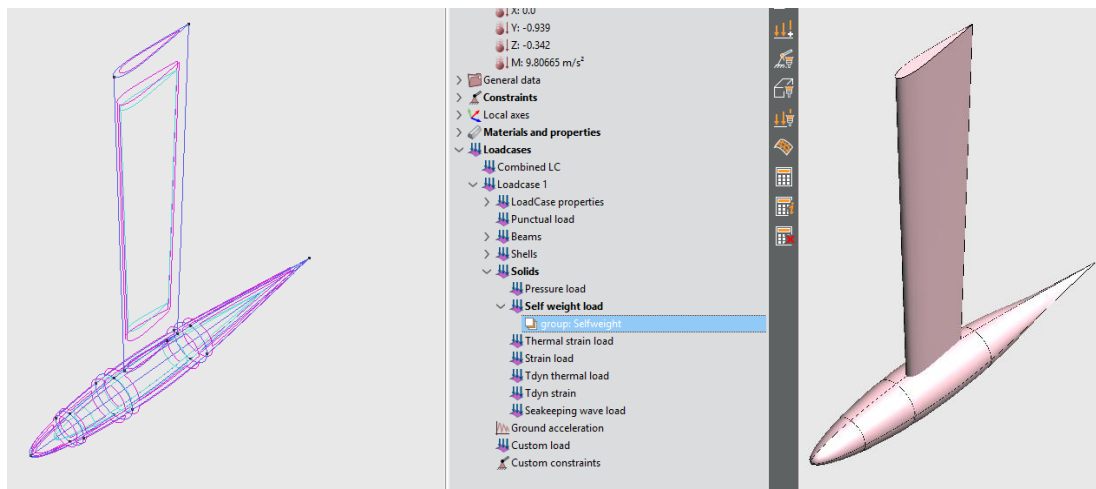


Figura 65: Definició de la tipologia de càrregues i assignació a la quilla

Un cop s'arriba a aquest punt el programa disposa de totes les dades necessàries per a executar la simulació, no sense abans haver creat el mallat necessari. Es genera un mallat amb un tamany d'element màxim de 0,6. Aquest paràmetre permet un post-procés suficientment acurat a la vegada que permetrà la generació del mallat de tots els volums implicats en l'estudi de manera relativament ràpida.

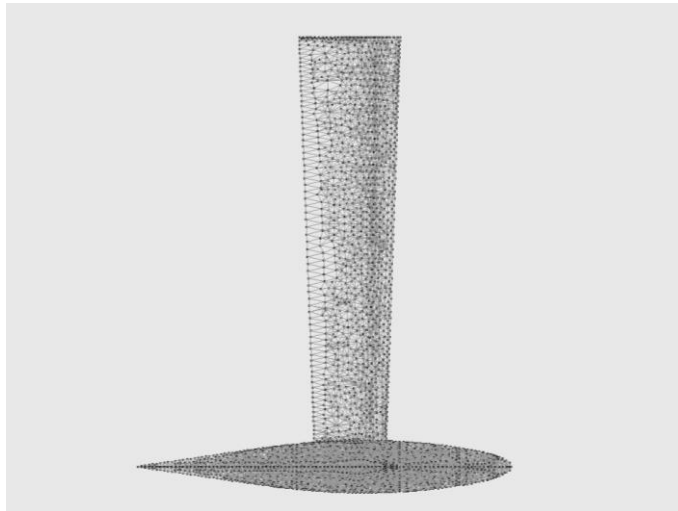


Figura 66: Model amb el mallat generat

El pas següent és executar el càlcul estructural després de guardar el projecte. Un cop finalitzat el càlcul es pot executar el post-procés per a obtenir els resultats de les tensions i desplaçaments produïts en les condicions de simulació determinades segons s'ha esmentat. Per a determinar si el prototip de quilla obtingut inicialment compleix amb els requisits establerts durant la definició de les entrades de disseny cal obtenir els diagrames de desplaçaments en l'eix Y i els esforços de *Von Mises*.

Els resultats de l'estudi es poden veure en l'apartat A1.7 de l'annex 1. D'aquests es conclou que el disseny, a més de no tenir la superfície longitudinal necessària, la flexió de la quilla superarà el valor màxim del cinc per cent de la seva longitud. No obstant, resistiria els esforços produïts. Es conclou que el disseny està ben encaminat a obtenir els resultats esperats i per tant, es pot prendre com a base per a un disseny millorat, evitant partir de nou des d'un origen.

Modificació del disseny de la quilla: proposta Keel II

De l'estudi estructural realitzat sobre el prototip anterior, s'obtenen les següents hipòtesis de millora:

1. Fer coincidir l'espessor màxim de la secció *NACA0015* amb *LCG*.
2. Allunyar els extrems d'atac i sortida.

Al *software Rhinoceros3D* es dupliquen les seccions verticals superiors i inferiors de l'orsa i s'editen les noves a través dels punts de control de les corbes. Es mouen les seccions adequadament per a que quedin en la posició buscada. Per últim s'uneixen els extrems de proa i de popa de les dues seccions amb dues línies rectes per a definir la nova secció longitudinal de l'orsa.



Figura 67: Comparació entre les seccions verticals superiors i inferiors de *Keel I* (en negre) i *Keel II* (en blau)

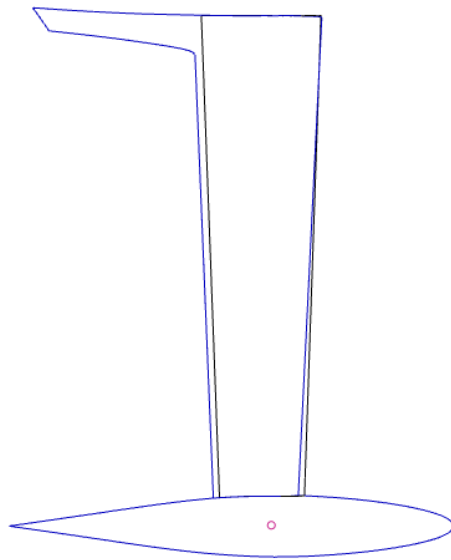


Figura 68: Comparació entre les vistes de perfil de *Keel I* (en negre) i *Keel II* (en blau)

En les figures (67) i (68) es veu com s'ha alterat la secció vertical superior i inferior del perfil *NACA0015* per a que l'ample màxim es trobi més a prop del centre de gravetat del bulb. També es modifica la secció longitudinal de la quilla. La secció longitudinal de la orsa queda ara més enrederida respecte del bulb, que es manté en la mateixa situació. L'aparició de l'aleta posterior respon a la necessitat d'augmentar la superfície projectada de la secció vertical de l'orsa.

Validació tècnica de la proposta Keel II

Es comprova si les dimensions de la quilla es troben dins dels límits establerts per les característiques de disseny.

	Màxim	Mínim	<i>Keel II</i>
Altura (en mm)	361	n/a	361
Ample entre altura 0 i -301 (en mm)	20	n/a	10
Superfície de l'orsa (en mm ²)	n/a	24800	24853

Figura 69: Màxim, mínim i valor obtingut en *Keel II* per a les característiques subjectes a restricció

Es pot comprovar en la taula anterior com *Keel II* sí compleix ara amb la superfície longitudinal mínima projectada. Es procedeix a realitzar el mateix anàlisi estructural al que s'ha sotmès la proposta *Keel I*. Es poden observar els diagrames i resultats obtinguts a l'apartat A1.8 de l'annex 1.

El desplaçament màxim obtingut en l'eix Y és de 15,33 mil·límetres, inferior al 5% de la longitud total de la quilla (18,05 mil·límetres). Els esforços màxims de *Von Mises* son inferiors també. Per tant en aquest cas el comportament estructural del disseny resulta vàlid.

En base als resultats anteriors es conclou que les hipòtesis de millora han estat encertades i que el nou prototip compleix, aquest cop sí, amb tots els requisits establerts a l'inici del procés durant la definició de les entrades de disseny. També en base als resultats anteriors, tenint en compte que la flexió es troba a prop del límit màxim, i que la superfície longitudinal no pot reduir-se pràcticament (supera el límit mínim per alguns mil·límetres quadrats), es considera que la possibilitat d'optimitzar el disseny és baixa i s'adopta *Keel II* com a disseny de quilla definitiu.

El pes de l'orsa no s'ha calculat encara. Doncs no s'ha dissenyat l'encaix de la quilla, i el disseny s'haurà de modificar per a possibilitar-ne la fixació. És per això que el pes de la orsa es considerarà com a característica de disseny de la fixació de la quilla i no podrà ser superior a 300 grams.

3.4.3 Disseny del timó

En aquest apartat s'explica el procés seguit per al disseny del timó.

Es l'element que permetrà la maniobrabilitat de la embarcació, permetent ajustar el rumb d'aquesta segons convingui.

3.4.3.1 Metodologia de disseny del timó

El disseny d'aquest element resultarà més senzill que el disseny d'altres components de la embarcació tals com el buc o la quilla. Es seguirà, igualment; un procés de disseny en espiral, iteratiu; fins a trobar el resultat desitjat.

El timó es delinearà fent servir *Rhinoceros 3D*, i no serà objecte de cap anàlisi estructural.

Característiques de disseny

La normativa només restringeix específicament aquest element en nombre (un) i en pes màxim (75 grams).

El timó haurà de disposar també de la superfície longitudinal necessària per a poder servir com a element de maniobra. Es dissenyarà el timó incloent la metxa amb la finalitat que la seva posterior construcció sigui monolítica. La forma haurà de ser imprimible en tres dimensions a partir d'una impressora de filament.

A mode de resum el timó:

- Tindrà una massa inferior a 75 grams.
- Disposarà de la superfície longitudinal.
- Comprendrà també la metxa en una construcció monolítica.
- La forma serà factible d'imprimir en tres dimensions.
- LCG del timó ocuparà la posició calculada en l'apartat 3.3.

Delineat del timó

S'empra *Rhinoceros 3D* i en concret la eina *Barrido por dos carriles*. Per a crear la metxa es crea un sòlid cilíndric al que se li practicarà l'encaix per a l'element d'accionament per via d'una diferència *booleana*.

Novament la operació de delineat comprendrà també la ubicació del timó en la seva posició calculada anteriorment.

Validació tècnica

Un disseny de timó es considerarà vàlid si compleix amb les característiques de disseny esmentades anteriorment. Aquest element no requereix l'estudi estructural realitzat per la quilla, per exemple; ja que les dimensions i pressions a les que es veurà sotmès no s'estimen de magnitud considerable.

3.4.3.2 Procés de disseny del timó i resultats.

En aquest apartat es detalla el procediment seguit per al disseny del timó, així com els resultats obtinguts.

Determinació de la superfície mínima del timó

El timó ha de disposar d'una superfície mínima per a complir el seu propòsit.

La societat de classificació *Det Norske Veritas* (DNV en endavant), determina una equació que relaciona l'àrea longitudinal del timó amb les tres dimensions bàsiques de la embarcació: eslora, màniga i calat. S'adoptarà com a expressió per al càlcul de l'àrea longitudinal mínima de la pala del timó. Aquesta equació és la següent:

$$A = \frac{TL}{100} \left[1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right]$$

Equació 16: Relació entre les dimensions bàsiques de la embarcació i l'àrea mínima de la pala del timó

On:

1. A : és l'àrea longitudinal del timó.
2. T : és el calat de la embarcació.
3. L : és l'eslora de la embarcació.
4. B : és la màniga de la embarcació.

Prenent les dades corresponents des de qualsevol dels *softwares* emprats per al disseny de la embarcació, es pot procedir al càlcul de l'àrea longitudinal mínima que haurà de tenir el timó. Les dimensions bàsiques de la embarcació són (en mil·límetres):

- $LOA = 999 \text{ mm}$.
- $B_{\max} = 201 \text{ mm}$.
- $T_{\max} = 57 \text{ mm}$.

Traslladant aquestes dades a la equació anterior:

$$A = \frac{TL}{100} \left[1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] = 57 \cdot \frac{999}{100} \left[1 + 25 \left(\frac{201}{999} \right)^2 \right] = 1145.72 \text{ mm}^2$$

Equació 17: Càlcul de la superfície mínima del timó

Aproximant a l'alça, la superfície longitudinal mínima que el timó haurà de tenir serà de 1146 mil·límetres quadrats. Cal dir que, com més gran sigui la pala del timó; major serà la quantitat de flux d'aigua que es desviarà, i per tant major serà la reacció i el moment de virada resultant.

Delineat del timó

Fent ús del *software Rhinoceros 3D*, es defineix la secció longitudinal del timó a partir de tres corbes, una per a l'extrem d'atac, una per a l'extrem de sortida; i una tercera paral·lela a cruixia per a unir ambdues. Es crea una superfície plana a partir de les tres corbes creades anteriorment i se'n calcula l'àrea d'aquesta a partir de la instrucció pertinent del *software*. S'agrupen les corbes i la superfície creada i s'escalen adequadament fins la obtenció de la superfície mínima desitjada.

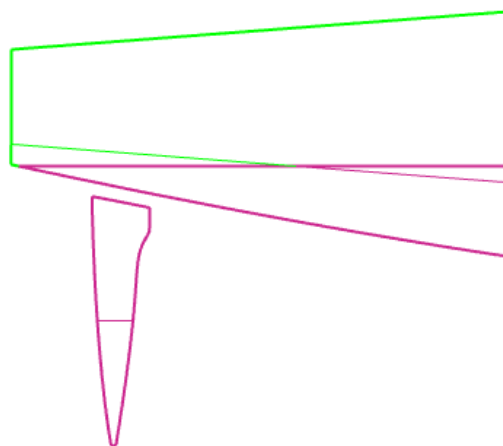


Figura 70: Delineat del timó amb *Rhinoceros 3D*

Per al timó dissenyat en la figura (70) l'àrea es lleugerament superior al mínim calculat. Es dota al timó d'una secció vertical en forma de perfil *NACA0015*. Per a tal propòsit es crea mitja secció del perfil al pla de construcció de la vista vertical. A continuació es fa servir la eina *Barrido por dos carriles* per a crear una meitat de la pala del timó.

Per a tancar-la, es reflexa aquesta superfície sobre l'eix de cruïxa i es fa servir la instrucció *tapar*. Aquesta comanda crearà automàticament les dues cares superiors i inferiors de la pala. Per últim se'n crea la metxa a partir d'un sòlid en forma cilíndrica i els incisos on s'hi encastrarà la canya a partir d'una diferència *Booleana*.



Figura 71: Primer disseny del timó

Validació tècnica

A partir de l'eina volum es troba el volum del timó complet. En aquest cas tancaria un espai de 3.08 centímetres cúbics. A partir del pes específic del timó $1,16 \text{ g/cm}^3$; la massa del timó una vegada acabat seria de 3,57 grams. Aquest valor es troba molt per sota del valor límit de 75 grams. Davant d'aquesta situació, i amb la finalitat de beneficiar la maniobrabilitat de la embarcació, s'opta per redimensionar el timó complet i obtenir-ne un de més pesant. S'ha de tenir en compte que la normativa només permet l'ús

d'un timó en regates i la escora pot provocar que part d'aquest sobresurti per sobre de la línia de flotació, fent que perdi eficiència.

Redimensionat del timó

Es conserva la mateixa forma, i s'opta per escalar la pala i la metxa fent servir un factor d'escala de l'ordre de 1,70. Això comportarà que totes les mesures unidimensionals del timó; incloent la metxa, augmentin 1,70 vegades. Acabada la ubicació, es troba *LCG* del timó i s'ubica l'element de manera que la posició del paràmetre coincideixi amb la calculada en l'apartat 3.3 de la present memòria.

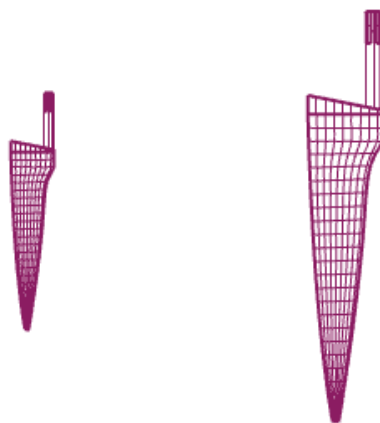


Figura 72: a la esquerra, primer disseny del timó; a la dreta disseny nou

Validació tècnica

L'aplicació d'aquest factor d'escala produirà que la superfície longitudinal projectada del timó sigui molt superior a la del primer model. En aquest cas, serà de 3517 mil·límetres quadrats. Es torna a fer el càlcul del pes. El nou disseny (incloent la metxa) tanca un volum de 16.03 centímetres cúbics. A partir del pes específic del *CARBON-P* es pot obtenir la massa, que serà de 18.59 grams. Novament, la proposta de disseny es troba molt lluny del valor de pes màxim admès per al timó. No obstant, un timó més gran també comporta major resistència.

En base a que ja es disposa d'un nou timó, que compleix amb les restriccions establertes i la superfície longitudinal projectada del qual és 3,06 vegades la superfície mínima calculada a l'inici del procés de disseny; s'opta per prendre el model dos (2) del timó com a disseny definitiu i es conclou el procés.

3.4.4 Disseny dels elements de fixació i/o accionament

En aquest apartat es descriu el procediment seguit per al disseny dels elements per a la fixació dels apèndixs al buc.

3.4.3.1 Metodologia de disseny

El disseny d'aquests elements resulta un procés senzill. Cal dissenyar un conjunt d'elements que permeti la fixació de la quilla i el timó al buc, d'acord a l'estipulat per la normativa, permetent la operació dels

elements així com facilitar operacions de substitució o remoció d'aquests. La normativa no restringeix aquests components a excepció de en els materials de construcció.

Característiques de disseny

D'acord a les restriccions de la classe IOM i a la funció que han de complir, tant els components per a la fixació de la quilla com els del timó compliran les característiques següents:

- Tindran una forma adaptada a la curvatura del folre i a l'apèndix en qüestió.
- Contribuiran a la estanqueïtat del mateix.
- Seran de forma, dimensions i resistència adequats.
- Permetran que els apèndixs es puguin desmuntar de manera senzilla.
- Cap element incomplirà, o farà que un altre element compleixi les regles de la classe *IOM*.
- En el cas del timó, permetran la rotació d'aquest.
- El pes total dels elements no superarà la estimació realitzada a l'apartat 3.3. d'aquesta memòria.

Delineat

S'emprarà *Rhinoceros 3D*. Per al modelat en tres dimensions d'aquests elements es procedeix extrudint una vista superior en vertical. La distància d'extrusió s'ajusta per a complir les característiques de disseny necessàries. Si l'element necessita ser adaptat a la forma del buc, es fa servir aquest com a element de tall per a la supressió de les parts no necessàries.

Validació tècnica

Un disseny es considerarà vàlid quan compleixi totes les característiques de disseny exposades anteriorment en aquest apartat.

3.4.3.2 Procés de disseny del conjunt de subjecció de la quilla i resultats

En aquest apartat s'exposa el procés de disseny del sistema de fixació de la quilla.

Aquest procés es divideix en dos sots-processos:

1. L'adaptació del disseny de la quilla per a poder ser fixada.
2. El disseny de tots els components per a fixar la quilla al buc.

La modificació de la quilla no podrà fer que l'orsa, la part que serà modificada, superi els 300 grams de pes. Suposaria un incompliment de la restricció de classe que limita el pes màxim de la quilla a 2500,00 grams.

Adaptació del disseny de la quilla

Per permetre que la quilla pugui ser fixada al buc, i a l'hora fer-ho de manera estanca, s'opta per prolongar l'orsa per sobre de la línia de flotació.

A la part superior d'aquesta s'hi afegeixen unes incisions asimètriques per al bloqueig d'aquest element.

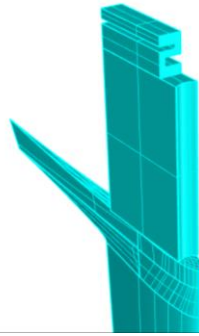


Figura 73: prolongació de l'orsa i incisions d'aquesta

Disseny dels components del sistema de subjecció

L'apèndix en qüestió es subjectarà fent servir un sistema de tres elements:

1. La caixa d'orsa, l'element dins del qual s'insereix la quilla.
2. Un element passant que encaixarà amb les estries practicades a l'orsa.
3. Un tercer element de tancament que encaixarà amb el passant i la caixa d'orsa.

El passant impedeix que la quilla caigui pel seu propi pes cap a sota. A la vegada el tancament encaixa el passant contra la caixa d'orsa, evitant que aquest es desplaci i pugui sortir. El treball conjunt dels tres elements immobilitzarà la quilla a la seva posició.

La caixa d'orsa es genera a partir d'una secció rectangular extruïda també per sobre de la línia de flotació. Al centre d'aquesta s'hi crea un canal per on s'insereix la quilla. Aquest sistema impedirà que entri aigua a l'interior de la embarcació ja que la obertura sempre queda per sobre de la línia de flotació.

La mateixa caixa servirà per a fixar el pal. Per davant de l'obertura per a la inserció d'aquest la caixa es prolonga fins a la mampara (2). Això permet millor transmissió dels esforços de la quilla al buc.

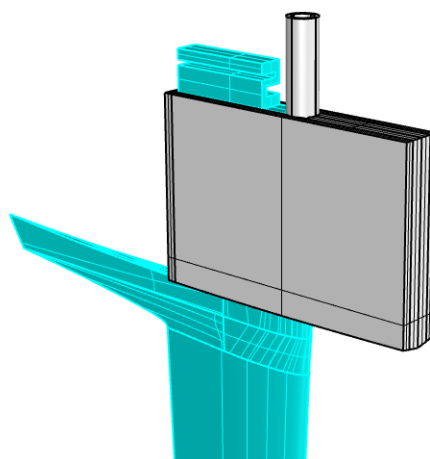


Figura 74: Caixa d'orsa amb la quilla introduïda dins del canal corresponent

Per al disseny del passant que impedeix la caiguda per gravetat de la quilla es crea una caixa i per mitja d'una diferència *booleana* es generen a l'interior d'aquest una forma complementaria a la de la part

superior de la quilla permetent l'encaix entre aquestes dues peces. L'ample del passant coincideix amb el de la caixa d'orsa. La part superior del passant té una forma particular per a l'encaix de l'element de tancament.

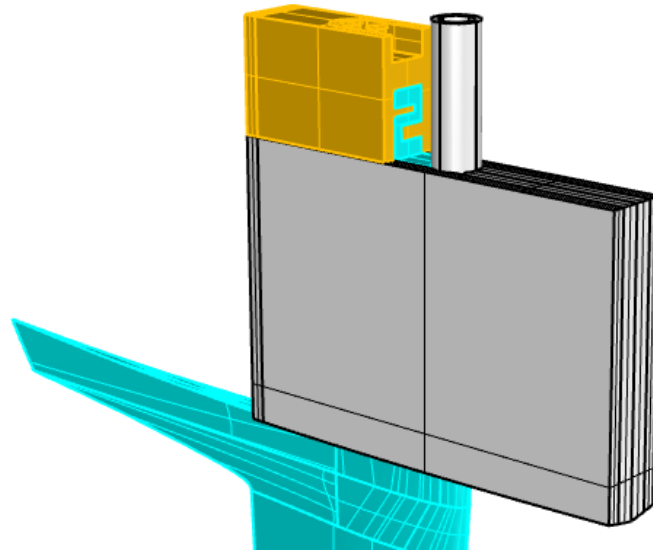


Figura 75: Passant inserit a la part superior de la quilla

El conjunt el completa un bloc que encaixa verticalment amb la caixa d'orsa, i en concret amb la cavitat del pal; i amb el passant. La funció d'aquest tercer element es impedir el moviment al passant a la vegada que segellar el canal de la caixa d'orsa per a assegurar la estanqueïtat.

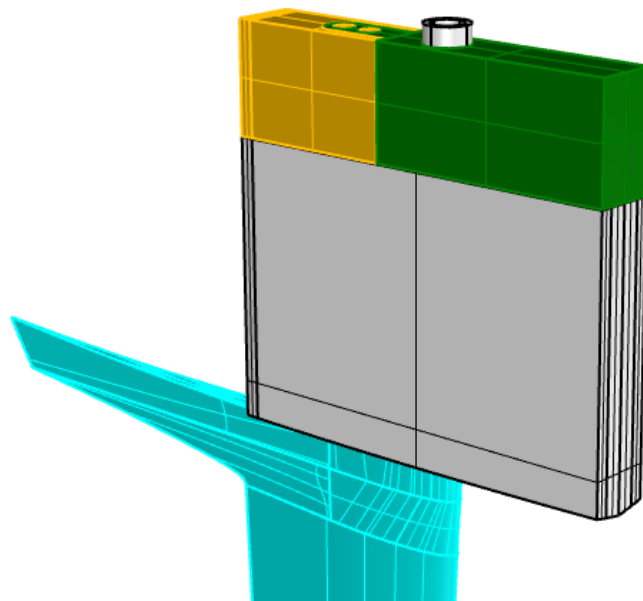


Figura 76: Tancament inserit a la seva posició, conjunt de fixació de la orsa complet

Les dimensions de cada element es poden consultar al plànol D.7 de l'annex 2.

Validació tècnica del conjunt de subjecció de la quilla

Es comprova que el re-disseny de la orsa, que comporta una adició de material; no comporta sobrepassar el límit de pes de 300 grams establert per a aquest element. Per a tal propòsit es troba el volum de la orsa a partir de la eina *volumen* de *Rhinoceros 3D*. Aquest ara és de 217.16 cm³. A partir del pes específic del *CARBON-P*, 1,19 g/cm³ es troba el pes de l'element: 258.23 grams. Aquest pes es troba per sota del límit. Concretament 41.77 grams.

Per una altra banda cal verificar el pes total dels components del sistema. Aquest no hauria de ser superior a 75 grams. Per a trobar la massa de cada element es fa servir la eina *volumen* a *Rhinoceros 3D* i es multiplica aquesta pel pes específic del *CARBON-P* i per 0,40. Aquest valor correspon al factor d'emplenament en tant per ú que s'emprarà per a la impressió de les peces.

Seguint aquest passos, la massa dels components serà:

- Caixa d'orsa: 70.55 grams.
- Passant: 11.83 grams.
- Tancament: 22.20 grams.

El pes total dels elements serà de 104,58 grams; 29.58 superior al límit de 75 grams establert per a aquest conjunt d'elements. No obstant, el disseny de la orsa redueix el pes de la quilla 41.77 grams. La diferència dels elements de subjecció de la quilla es inferior. Per tant, i ja que es compleixen la resta de les característiques de disseny, es considerarà el disseny vàlid. La millora en quant a pes obtinguda en un dels elements compensa l'augment de pes dels components del sistema, i a nivell global no perjudicarà l'equilibri final de la embarcació.

3.4.3.3 Procés de disseny del sistema de subjecció i operació del timó

En aquest apartat s'explica el procés seguit per al disseny de tots els components que conformaran el sistema de subjecció i operació del timó.

Aquest sistema garantirà la subjecció del timó a la seva posició permetent com a grau de llibertat la rotació sobre l'eix vertical de la metxa que permetrà orientar el timó segons conveniència.

Novament, aquest procés de disseny compta amb dos sots-processos:

1. L'adaptació de la forma de la metxa.
2. El disseny *per se* de tots els components del sistema de subjecció i operació.

La metxa del timó requereix ser adaptada per a que pugui encaixar amb el braç d'accionament.

Adaptació de la metxa

La part superior d'aquesta es remodela per a dotar-la d'una forma en estrella de quatre puntes mascle. Això evita que la canya rellisqui. Es retalla per a ser ajustada a la altura de la llimera, dissenyada paral·lelament.



Figura 77: Detall de la part superior de la metxa

Disseny dels components del sistema de subjecció i operació

El sistema de subjecció i operació està format per als següents components:

1. La llimera.
2. La canya.
3. Un topall.
4. Dos eixos de connexió entre la canya i el servomotor que acciona el timó.

La llimera és el canal que comunica la obertura practicada al buc per a la introducció de la metxa amb la coberta principal i l'element que transmet els esforços del timó a aquest.

El fet que la obertura superior d'aquesta via es trobi per sobre de la línia d'aigua impedeix l'embarcament d'aigua, contribuint per tant a la estanqueïtat del vaixell. Es dissenya a partir d'un tub al que se li afegixen tres nervis, la funció del qual serà contribuir a la correcta transmissió de les forces generades pel timó al buc i assegurar que la posició del timó serà sempre vertical evitant la flexió.

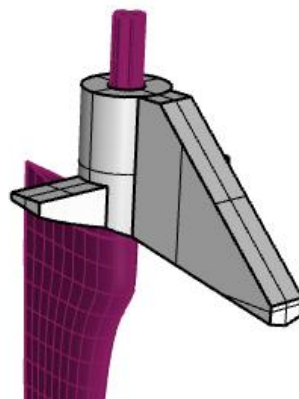


Figura 78: Llimera amb la metxa introduïda a través d'aquesta

La canya és l'element que converteix la força del servomotor d'accionament en un moment aplicat sobre la metxa del timó, permetent la rotació d'aquest. En conjunt amb el topall, evitaran que el timó caigui per pes, ja que l'element sobresurt de la Llimera. Es dissenya per a que sigui simètrica respecte cruïxa. L'orifici central té forma complementaria a la metxa: forma d'estrella de quatre puntes femella.

A les parts externes s'hi practiquen tres orificis per banda que serviran per a encaixar els eixos per a la connexió d'aquesta peça amb el servomotor.

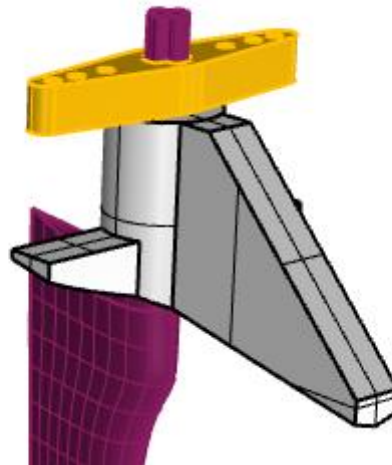


Figura 79: Canya instal·lada sobre la metxa

El sistema el completa un topall que encaixa a pressió amb la metxa, impedit que el timó caigui per gravetat cap avall. Aquest té la mateixa forma en estrella de quatre puntes femella que la canya. Al ser de major diàmetre que la canya i la obertura de la llimera, i pel pes del timó que encaixa a pressió amb aquest; el topall desplaçarà cap avall. La canya quedarà apressada, i s'evitarà que el timó pugui caure a la vegada que es permetrà la fàcil substitució del timó en cas de trencament.

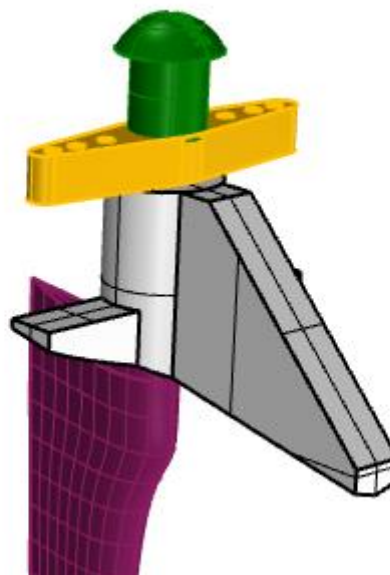


Figura 80: Topall instal·lat a la part superior de la metxa

Completen el sistema de subjecció i accionament dos eixos de 3 mil·límetres de diàmetre que transmetran la força entre del servomotor al timó. Es contempla l'ús de dos en comptes de només una per evitar l'aparició de vinclament.

Validació tècnica del sistema de subjecció i accionament del timó

Es comprova de nou que el pes del conjunt es troba per sota del màxim establert durant la estimació de masses calculant el volum i multiplicant aquest per 0,50 i pel pes específic del *CARBON-P*. La massa dels elements és:

- Llimera: 10,91 grams.
- Canya: 2,11 grams.
- Topall: 1,41 grams.

El pes global és de 14.43 grams, més de 10 grams per sota del límit establert. Per tant, el sistema compleix amb aquesta restricció de disseny, així com amb la resta de característiques esmentades. Conclòs el disseny del sistema de subjecció i operació del timó es conclou també el procés de disseny dels apèndixs, quedant tota la embarcació dissenyada, a excepció de la eixàrcia de labor, fixa i veles (no tractades en aquesta memòria).

3.5 Estudi tècnic del disseny final

Finalitzat el disseny es procedeix a fer un estudi final i més acurat dels paràmetres de comportament del disseny final. En aquest apartat s'exposen tots els anàlisis realitzats sobre el model final, previ pas a l'inici de la fase de construcció; les condicions sota les quals han estat executats i els resultats obtinguts.

3.5.1 Estudi final de la resistència

Es realitza un estudi d'arrossegament final que contempla no només l'anàlisi de la resistència a l'avanç sobre el buc, sinó també la debuda a la presència dels apèndixs dissenyats a l'apartat 3.4.

Condicions de l'estudi

S'estudia la resistència a l'avanç dins l'interval de velocitats de zero (0) i quinze (15) nusos. El mateix contemplat durant la fase de disseny del folre. Es fan servir dos mètodes per a la obtenció de l'arrossegament:

1. *Holtrop.*
2. *Slender Body.*

Per a l'estudi s'exporta un model en tres dimensions del folre, la quilla (bulb i orsa) i el timó en format *.iges*. Aquest model és importat a *Maxsurf Modeler Advance* per a configurar correctament els punts de referència. Posteriorment l'arxiu es desat en format *.msd*²⁶. Aquest arxiu s'importa a *Maxsurf Resistance*. Es configura el *software* per a que generi un estudi entre les velocitats esmentades fent servir els dos mètodes. Els resultats son exportats en una fulla *excel* per a generar les pertinents corbes.

Resultats de l'estudi

Es poden consultar els resultats de l'estudi d'arrossegament a l'apartat A1.7 de l'annex 1.

3.5.2 Estudi final del repartiment de masses

En base a les masses definitives calculades al llarg del procés de disseny es procedeix a estudiar la posició definitiva que ocuparà cada element respecte del buc. En conseqüència, i si escau; es corregeixen els dissenys pertinents.

També debut a que durant la fase d'estimació de masses no s'han emprat models definitius sinó representacions estimatives de tots els components, es procedeix a fer el càlcul real de *LCG* i *VCG* de tots els elements per individual previ pas a calcular els mateixos paràmetres per al conjunt de la embarcació.

De ser necessari es modificaria la posició d'un element en particular o el disseny d'aquest si escau.

²⁶ Sigles del format que fa servir *Maxsurf* per a la generació d'arxius

Condicions de l'estudi

L'estudi del repartiment de masses definitiu s'efectuarà sota les condicions següents:

1. Els pesos dels components del buc correspondran als calculats en l'apartat 3.3.
2. Les masses dels apèndixs seran calculades de nou a partir del volum de la representació 3D creada segons detalla l'apartat 3.4.
3. Els pesos dels components electrònics i d'eixàrcia correspondran també als calculats en l'apartat 3.3.

En referència a aquest últim punt, cal dir que construir el pal i les botavares també en *CARBON-P* comportaria una substancial millora en quant a pes, següent aquest de cinquanta-sis (56) grams.

3.5.2.1 Càlcul de la massa final dels apèndixs

Aquesta operació pretén cercar la massa definitiva dels apèndixs tenint en compte la seva forma definitiva després del seu pertinent procés de disseny.

Per a alguns elements ja s'ha calculat anteriorment la massa ja que ha estat necessària per a processos de disseny i/o de disseny.

Per tal de calcular la massa definitiva es cerca el volum a *Rhinoceros 3D* i a partir del pes específic del material de construcció de cada element es troba el pes final.

	m (g)
Orsa	258,42
Bulb	2157,32
Caixa d'orsa	70,55
Passant	11,83
Tancament	22,2

Taula 37: Masses definitives de la quilla i els components del seu sistema d'ancoratge

	m (g)
Timó	19,08
Llimera	10,91
Accionament	2,11
Topall	1,41

Taula 38: Masses definitives del timó i els components del seu sistema d'ancoratge i accionament

Les diferències entre les estimacions realitzades a l'apartat 3.3 d'aquesta memòria i les masses definitives obtingudes es deuen a les causes següents:

- La forma definitiva dels components és de menor volum.
- El procés de construcció permet obtenir elements de menor massa.
- En el cas del bulb, es perd volum per l'encaix on s'hi ubicarà l'orsa.

3.5.2.2 Càlcul de la posició del centre de gravetat definitiva

Amb les masses definitives de tots els components es pot procedir a fer el càlcul de *LCG* i *VCG* de la embarcació.

Per a la realització d'aquest càlcul es segueixen els passos següents

1. Es troba *LCG* i *VCG* de cada element fent ús de *Rhinoceros 3D*.
2. Es fa el càlcul del moment longitudinal i vertical de la massa de l'element en combinació amb el braç pertinent.
3. Es troba *LCG* i *VCG* del conjunt dels elements de:
 - a. Buc.
 - b. Quilla.
 - c. Timó.
 - d. Electrònica.
4. Es troba *LCG* i *VCG* de la embarcació.
5. S'ajusta la posició final de cada element, si escau, i es repeteix el punt (4).
6. Es calcula pes i ubicació del llast, si escau.

El càlcul del centre de gravetat es pot consultar a l'apartat A1.6.2.

Es pot apreciar com la posició real de *LCG* respecte la estimada és lleugerament menor (més avançada respecte de la quaderna mestra). Aquesta diferència es deu a les formes finals dels components. En la estimació, quan ha calgut fer càlcul de pesos, s'han considerat elements prismàtics. També el bulb ha patit canvis en la seva forma final respecte la emprada per la estimació.

Del resultat del càlcul de masses es pot observar com la suma de les masses totals dels components de la embarcació no superarà els 4 000,00 grams, mínim establert a la normativa. Per tant, caldrà emprar llast. Aquest serà calculat durant l'estudi d'estabilitat de la embarcació i complirà una doble funció:

1. Assolir el pes mínim establert per normativa.
2. Equilibrar la embarcació.

3.5.3 Estudi de la estabilitat final de la embarcació

En base al repartiment de masses estudiat a l'apartat anterior i abans de tancar la fase de disseny de la embarcació, es procedeix a fer un estudi de la estabilitat global d'aquesta considerant totes les càrregues que influiran.

Es divideix l'estudi en tres fases:

1. Estudi del llast: mida i posició d'aquest.
2. Estudi de la posició d'equilibri de la embarcació.
3. Estudi del comportament de la embarcació en escora.

Estudi de la mida i la posició del llast

El fet que la massa conjunta de la embarcació no superi els 4000,00 grams obliga a l'ús de llast per a corregir aquest dèficit. El llast ajudarà a assolir l'equilibri final desitjat. La normativa permet l'ús d'aquests en posicions fixes i que no podran ser alterades durant les regates. És dissenyat i posicionat per al compliment de les condicions següents:

1. Que s'assoleixi el pes mínim de 4000,00 grams especificat per la normativa.
2. Que *LCG* de la embarcació es trobi per darrere de *LCB*.

No obstant l'esmentat anteriorment, el pes a afegir podrà ser lleugerament superior a l'estrictament necessari per a l'obtenció del pes mínim si això beneficia l'arrossegament, la estabilitat de la embarcació o ambdues. En base a la incidència del llast sobre la posició del centre de gravetat, es consideren dues ubicacions possibles:

1. Dins el local de la electrònica, per darrere de *LCB* i en una posició el més baixa possible. Aquesta opció afavorirà la disminució de *VCG* i afavorirà la estabilitat.
2. A popa de la llimera. Aquesta opció afavorirà l'arrossegament.

Es dissenyen quatre possibles solucions:

- Les dues primeres per a assolir únicament el pes mínim, una opció per a cada ubicació.
- La tercera, de pes suficient per a assolir *LCG* de -15,55 mil·límetres com a mínim en la posició més centrada.
- La quarta, de pes suficient per a assolir *LCG* de -20,00 mil·límetres com a mínim en la posició més enrederida.

Els resultats de l'estudi de la posició i mida del llast es poden consultar a l'apartat A1.6.3 de l'annex 1. En base a aquests es conclou el següent:

- La opció 1 queda descartada com a solució definitiva. *LCG* queda ubicat per davant de *LCB* i per tant no compleix amb les condicions de disseny.
- La opció 3 queda descartada ja que per a assolir *LCG* objectiu es requereix l'addició de molt pes, afectant negativament *VCG* (doncs és la opció amb *VCG* més elevat) i afectant negativament la estabilitat quan la ubicació de llast en aquesta posició pretén ser la que menys afecti aquesta magnitud.

Les opcions 2 i 4 seran considerades per a l'estudi de la estabilitat de la embarcació i s'escollirà aquella que millori les prestacions de la embarcació.

Estudi de la posició d'equilibri de la embarcació

Amb les dues opcions de llast calculades anteriorment es procedeix a calcular els paràmetres hidroestàtics de la embarcació quan aquesta es troba en situació d'equilibri (escora igual a zero).

Per a aquest estudi es fa ús de *Maxsurf Stability Enterprise*. Per a l'assaig s'empra la forma *MS-IOM V* dissenyada anteriorment (veure apartat 3.2. *Disseny del buc*), i es crea una situació de càrrega diferent per a cada opció de llast, respectant la resta de masses i la seva ubicació definitiva (veure apartat 3.5.2. *estudi final del repartiment de masses*). Es selecciona la opció d'estudi *Equilibrium*. Els resultats de l'estudi es poden consultar a l'apartat A1.6.4 de l'annex 1.

Ambdues posicions resulten molt semblants, obtenint un lleuger angle d'assentament a popa en ambdues i sent superior quan s'aplica la opció 4 del llast. A partir d'aquestes dades no es pot determinar quina de les dues opcions resulta més avantatjós.

Estudi de la estabilitat de la embarcació

Previ pas a la conclusió de la fase de disseny es procedeix a realitzar un estudi del comportament de la embarcació pel que respecta a la estabilitat d'aquesta. Novament s'empra *Maxsurf Stability Enterprise* i la mateixa forma. *Large Angle Stability* serà la opció d'estudi seleccionada, aquest cop. Es tornen a emprar, també, les dues situacions de càrrega anteriors corresponents a les opcions de llast 2 i 4. Els resultats de l'estudi es poden consultar a l'apartat A1.6.5 de l'annex 1.

La diferència es mínima entre els dos apartats, no obstant de les dades d'assentament es pot observar com la opció 4 afavoreix un angle més a popa evitant la tendència a "clavar la proa". Això hauria de tenir una influència positiva sobre l'arrossegament. Com a resultat, la opció 4 de llast serà la definitiva. I conclou la fase de disseny de la embarcació.

Es procedeix a la obtenció dels plànols necessaris per a una futura fase de construcció. Es poden consultar aquests a l'annex 2 de la present memòria escrita.

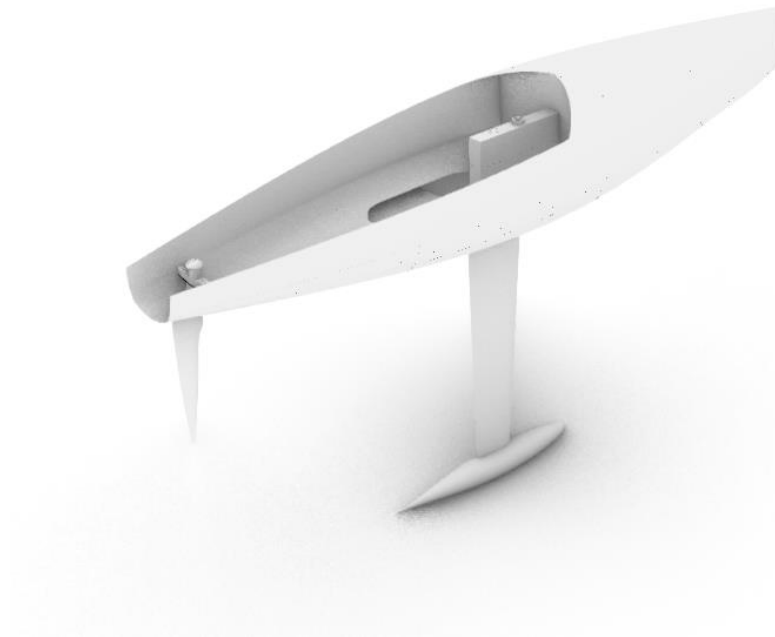


Figura 81: Model en tres dimensions del disseny del buc i els apèndixs de la embarcació completats

Capítol 4. Procés de construcció

En aquest capítol s'expliquen amb detall totes les operacions realitzades per a la construcció de tots els components de la embarcació i el muntatge final del conjunt.

També s'expliquen la fase de planificació i pressupostat prèvies i els controls de qualitat seguits durant el procés per a assegurar que els resultats obtinguts durant la construcció concorden amb els paràmetres de disseny establerts en el capítol anterior.

La fase de construcció es pot esquematitzar tal com segueix:

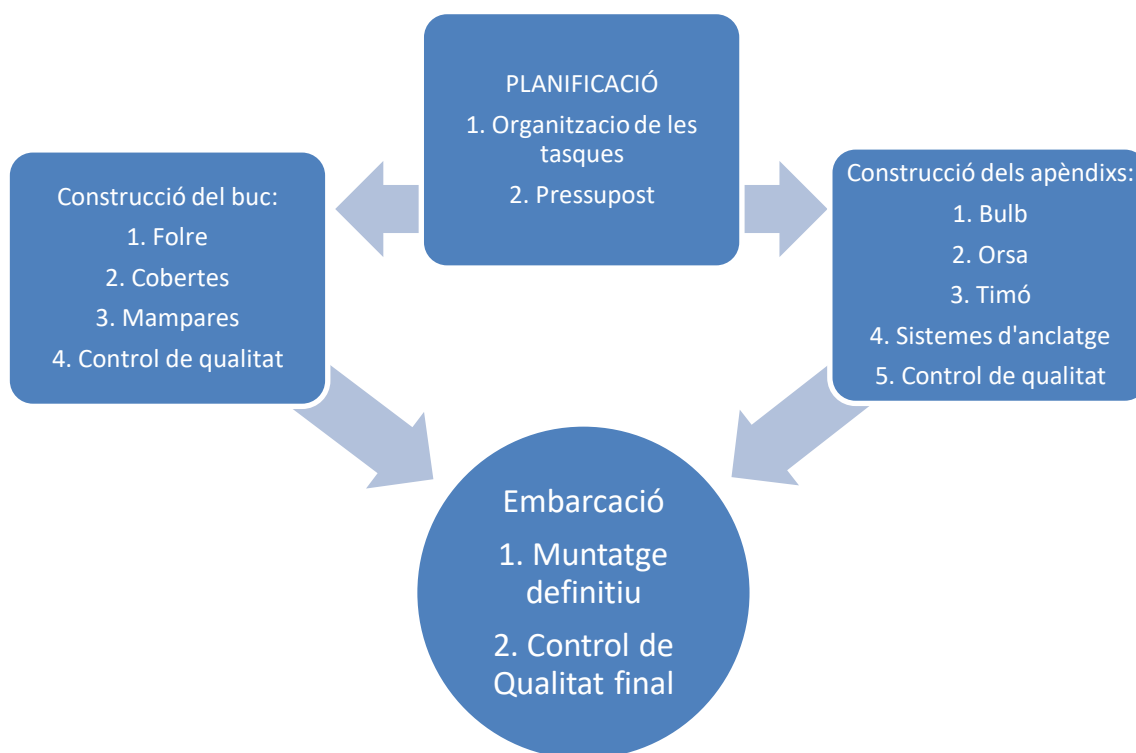


Figura 82: Esquema resum de la fase de construcció

4.1 Planificació

Prèviament a l'inici dels treballs de construcció dels components de la embarcació es procedeix a planificar-ne la operació de construcció per a maximitzar la eficiència i reduir els temps de treball i el cost del procés.

En aquest apartat es descriu el procés de planificació de les tasques així com el pressupostat de tot el conjunt de materials i mà d'obra necessaris.

4.1.1 Organització dels treballs, diagrama de *Gantt*

Totes les tasques en les que es subdivideixen els processos de construcció tant del buc com dels apèndixs s'organitzen previ pas a l'inici d'aquest.

El fer-ho permet identificar el camí crític: aquell que és troncal, i del qual en depenen més treballs. També permet estudiar amb més profunditat la dependència entre les diferents tasques així com aquelles independents entre sí, i que per tant poden desenvolupar-se de manera simultània.

A grans trets, els grans treballs de construcció seran els següents:

1. La construcció dels elements del buc.
2. La construcció dels apèndixs.
3. El muntatge i equilibrat final.

En els següents apartats es detalla en profunditat els sots-processos de cada gran bloc.

4.1.1.1 Tasques per a la construcció del buc

Son sots-processos propis del procés de construcció dels components del buc:

1. La construcció del folre, a través de:
 - a. La construcció d'un motlle mascle.
 - b. La construcció d'un motlle femella laminat sobre el motlle mascle.
 - c. El laminat del folre fent ús del motlle femella.
2. La construcció de la coberta de proa, a través de:
 - a. La construcció d'un motlle femella.
 - b. El laminat de la coberta de proa fent ús del motlle femella.
3. La construcció de la coberta de popa, a través de:
 - a. La construcció d'un motlle mascle.
 - b. El laminat de la coberta de popa fent ús del motlle mascle.
4. La construcció de les mampares, a través de:
 - a. El laminat d'una planxa plana de polièster reforçat amb fibra de vidre.
 - b. El tallat i conformat de la mampara 1 per tall i vidrat.
 - c. El tallat i conformat de la mampara 2 per tall i vidrat.
 - d. El tallat i conformat de la mampara 3 per tall i vidrat.
 - e. El tallat i conformat de la mampara 4 per tall i vidrat.

La coberta d'electrònica no es construirà al no contemplar aquest projecte la instal·lació dels components electrònics.

4.1.1.2 Tasques per a la construcció dels apèndixs

Son sots-processos propis del procés de construcció dels apèndixs:

1. La construcció del bulb, a través de:
 - a. La impressió en tres dimensions d'una reproducció a escala 1:1 del model informàtic.
 - b. La construcció d'un motlle femella.
 - c. El conformat del plom per fossa fent ús d'aquest motlle.
2. La construcció de la orsa, a través de la impressió en tres dimensions del component.
3. La construcció de la pala del timó, a través de la impressió en tres dimensions del component
4. La construcció de tots els components dels sistemes de fixació de la quilla i el timó, a través de:
 - a. La impressió en tres dimensions de la caixa d'orsa.
 - b. La impressió en tres dimensions del passant.
 - c. La impressió en tres dimensions del tancament.
 - d. La impressió en tres dimensions de la llimera.
 - e. La impressió en tres dimensions de la canya.
 - f. La impressió en tres dimensions del topall.

4.1.1.3 Tasques de muntatge final

Son sots-processos propis del procés de muntatge final:

1. El muntatge final del buc, a través de:
 - a. La fixació de la mampara 1 a través de l'ús de màstic de polièster.
 - b. La fixació de la mampara 2 a través de l'ús de màstic de polièster.
 - c. La fixació de la mampara 3 a través de l'ús de màstic de polièster.
 - d. La fixació de la mampara 4 a través de l'ús de màstic de polièster.
 - e. La fixació de la caixa d'orsa a través de l'ús d'adhesiu estructural.
 - f. La fixació de la llimera a través de l'ús d'adhesiu estructural.
 - g. La fixació de la coberta de proa a través de l'ús de resina de polièster.
 - h. La fixació de la coberta de popa a través de l'ús de resina de polièster.
2. El muntatge final de la quilla, a través de:
 - a. L'encast de l'orsa al bulb.
 - b. La obertura del folre i la fixació de la quilla a la caixa d'orsa en combinació amb el passant i el tancament.
3. La obertura del folre i el muntatge final del timó a través de la llimera i en combinació amb la canya i el topall.

4.1.1.4 Diagrama de *Gantt*

El conjunt de les tasques s'introdueix en un diagrama de *Gantt*.

Les operacions independents entre sí podran ser elaborades en paral·lel, mentre que les operacions que depenguin de feines prèvies hauran d'esperar a la compleció de la tasca prèvia de la que depenen. S'atorga un valor de temps estimatiu a cada tasca en particular, fent ús de les hores com a unitat de temps. Per a l'assignació d'hores es considera l'existència de:

1. Un equip de treball de tres homes.
2. Màquines eina i instrumentari suficient per a l'equip humà.
3. Un únic equip d'impressió en tres dimensions.
4. Tot el material necessari per a les operacions al moment de l'inici d'aquestes.

Cada tasca contempla totes les hores d'elaboració i d'espera (per assecatge, cura, procés, ...) necessàries per a la obtenció del producte final d'aquella tasca (un motlle, un element, o un sistema). També es considera que cada integrant d'un equip humà només pot executar una operació a la vegada, a excepció que aquesta tasca es trobi en espera.

El diagrama de *Gantt* resultant de la operació de planificació es pot consultar a l'annex 3, *documents organitzatius*.

Sobre el mateix diagrama, es poden veure les tasques que componen el camí crític en vermell: son aquelles tasques de les quals depenen més operacions i en les quals un retard comporta conseqüències majors.

4.1.2 Pressupost

S'elabora un pressupost a partir d'una estimació del material necessari per a la construcció de la embarcació. Un pressupost es un pla d'acció la finalitat del qual es projectar el cost estimatiu que comportarà la realització d'un projecte en particular.

En aquest s'hi exposen tots els materials consumibles i serveis (mà d'obra, ...) a adquirir, la quantitat necessària d'aquests i el preu per unitat. A partir de la combinació d'aquests dos factors és possible conèixer el cost econòmic total de la elaboració de la embarcació. No es contempla la compra d'eines ni maquinaria.

Els preus unitaris per als productes s'han consultat a data 24 de Gener de 2018 als següents proveïdors:

1. Sagristà Products – Jordi Sagristà, S.L.
2. RS Components – Amidata S.A.U.
3. Pinmar Yacht Supply – Pinmar Yacht Supply, S.L.

El total dels materials pressupostats per a la realització d'aquesta construcció és de 603,13 euros, IVA inclòs. En l'annex 3 *documents organitzatius* es pot consultar els pressupostos dividits per component (folre, coberta de proa, coberta de popa, mampares, bulb i apèndixs i sistemes de fixació).

4.2 Procés de construcció del buc

En aquest apartat es detalla el procediment seguit per a la realització de totes les tasques i sots-tasques que conformen el procés de construcció de tots els components que formen el buc. També es descriuen tots els materials i eines emprats, el procés seguit per a la construcció i també el control de qualitat dut a terme per a la verificació que els components obtinguts compleixen amb les dimensions de disseny.

Per a construir els elements del buc cal conèixer el procés de construcció de motlles mascle i femelles i el procés de laminat que s'exposen en els apartats següents.

4.2.1 Construcció de motlles a partir d'un model informàtic en tres dimensions

Per a la construcció d'un motlle per al laminat a partir d'un model en tres dimensions creat fent ús d'un *software* informàtic, independentment de que aquest sigui mascle (convex) o femella (còncav); es procedeix segons s'explica a continuació.

El primer pas és la extracció de seccions transversals del model 3D a partir de la opció *Sección* de *Rhinoceros 3D*. Aquestes s'imprimeixen a escala 1:1. La precisió del motlle anirà en funció del nombre de seccions que se'n obtinguin: a major nombre de seccions transversals, major serà la precisió del motlle i per tant aquest serà més semblant a la forma dissenyada. S'imprimeixen totes elles en un foli (un per a cada secció transversal). Si cal, es fan les adaptacions necessàries amb el *software* abans d'imprimir.

Les plantilles es retallen i es calquen sobre un taulell de DM^{27} . Aquest material es caracteritza per la seva facilitat per ser tallat i fregat.



Figura 83: Distribució de les plantilles per a la construcció del motlle mascle de la coberta de popa

Després de tallar amb una serra de vogir elèctrica i desbastar el material sobrant amb una fregadora elèctrica, s'ajusta la secció transversal a la forma de la plantilla fent ús de paper de vidre de gramatges *P40 – P80*.

²⁷ Sigles que fan referència a un aglomerat de densitat mitja

Acabades la totalitat de seccions transversals que es faran servir per a la construcció d'un motlle en concret, es procedeix a posicionar aquestes en una base de mida i característiques adequades. Posteriorment s'encolen amb cola blanca per a fusta les peces en posició vertical, fent especial èmfasi en que cada secció transversal ocupi al mil·límetre la posició que li pertoca.



Figura 84: Posicionament de les seccions transversals sobre la base del motlle de la coberta de popa



Figura 85: Seccions transversals encollades a la base del motlle femella de la coberta de proa

Es deixa assecar la cola i es reforça l'enganxat posteriorment amb més adhesiu per a evitar que cap secció es desprengui durant les següents fases.

L'espai existent entre les peces verticals s'omple fent servir espuma rígida de poliuretà prèviament tallat amb un cúter. Es tallen en forma quadrada, de manera que cada bloc d'espuma sigui més gran que les dues seccions entre les que s'interposa. Es bloquegen a la base fent ús d'unes gotes de cola de poliuretà

i es procedeix amb la precaució necessària per a no descol·locar cap bloc si es treballa abans que l'adhesiu sequi. També s'evitarà pressionar en excés les quadernes. Si el bloc fos excessivament gran i no cabés entre les seccions transversals, s'eliminarà part d'aquest fregant-lo amb paper de vidre. La espuma de poliuretà és molt senzilla de desbastar, per tant cal tenir cura de no remoure material en excés.



Figura 86: Blocs de poliuretà ubicats entre les seccions de DM del motlle femella de la coberta de proa

El següent pas es retirar la espuma de poliuretà de manera manual amb un cúter o semblant i paper de vidre. Una màquina de fregar elèctrica resulta excessiva per a aquesta operació, precisament per quant senzill resulta desbastar aquest material. Fent ús d'un bloc de fregar manual es remou el poliuretà excedent fins a destapar les seccions de DM. Per a donar la forma final als blocs i fer que aquesta s'ajusti a la que ha de tenir el motlle es recolza el bloc de fregar sobre les seccions de DM. Aquest material costa més de desbastar que la espuma, i per tant això permetrà retirar material sense alterar la forma de la secció transversal. Es convenient realitzar aquest últim ajustament amb paper de vidre de gramatge P120, com a mínim.



Figura 87: Remoció de la espuma de poliuretà amb una fulla de serra



Figura 88: Remoció de la espuma de poliuretà sobrant i ajust de la forma del motlle del folre

Una vegada retirat tot el material sobrant es procedeix al recobriment del motlle amb màstic fí de polièster. Aquest producte tancarà el porus de la espuma de poliuretà per una banda i acabarà de permetre ajustar i definir la forma del motlle a la marcada per les quadernes. Per a la aplicació del màstic s'usa una espàtula plana metàl·lica, de dimensions superior a l'espai entre seccions transversals. Procedir d'aquesta manera permet omplir qualsevol excés de desbast que s'hagués pogut produir durant el fregat del poliuretà i acabar de definir la forma del motlle.

Una vegada aplicat el màstic, es deixa assecar (en funció de la temperatura ambient i de la proporció d'enduridor afegida a la mescla, sol trigar entre 20 i 30 minuts) i es freguen les imperfeccions amb paper de vidre de gramatge *P120* inicialment, i a mà. Es repeteix el procés entre dues i quatre vegades per a assegurar que totes les concavitats s'omplen adequadament.

Acaba la última mà de màstic, s'aplica una capa de resina de polièster i fibra de vidre. Aquest pas segellarà completament el conjunt de *DM* i espuma de poliuretà i conferirà una base sòlida per a la obtenció d'una superfície molt suau, ja amb la forma definitiva del motlle adquirida.



Figura 89: Capa de fibra de vidre aplicada per segellar el motlle de la coberta de popa

L'últim pas, segurament també el més llarg consisteix a la aplicació de tantes capes de màstic fi de polièster com sigui necessari pera la obtenció d'un tacte suau. Cal posar atenció a no afegir massa producte, doncs es podrien alterar les dimensions del motlle. S'aplica el màstic, es deixa assecar i es frega, fent ús d'una màquina de fregar elèctrica i acabant a mà. Les primeres capes es fregen amb paper de vidre de *P120* de gramatge. S'augmenta aquest a *P220*, després a *P400*, i s'acaba amb *P600* amb un procés de fregat a l'aigua.



Figura 90: A la esquerra, secció de proa del motlle del folre amb el màstic aplicat però no fregat. A la dreta la mateixa secció des de l'angle oposat ja fregada



Figura 91: Motlle del folre acabat

4.2.2 Laminació de resina de polièster reforçada amb fibra de vidre

Quan calgui obtenir elements fabricats en *composite* de fibra de vidre i resina de polièster es procedirà segons procedeix:

El primer pas consisteix a aplicar d'entre set (7) a deu (10) capes de cera de carnauba sobre el motlle sobre el que es realitzarà la operació. S'aplica el producte amb una esponja, es deixa assecar entre cinc (5) i quinze (15) minuts, en funció de la temperatura ambient; i després es frega el motlle amb un drap de micro-fibres. Després es deixa assecar la cera uns altres quinze (15) minuts.



Figura 92: Detall del motlle mascle del folre amb la última capa de cera aplicada

Paral·lelament es tallen els panells de fibra de vidre per a que s'ajustin a la forma del motlle sense que sobresurti en excés per evitar despesa innecessària de material.

Es opcional l'aplicació inicial sobre el motlle de dues o més capes de *gelcoat*, una resina modificada, generalment pigmentada que s'aplica sobre el motlle i confereix a la peça final un acabat d'aparença suau, fina i amb color i que també protegeix el *composite*.



Figura 93: Motlle mascle de la coberta de popa amb el *Gelcoat* aplicat (dues capes)

A continuació s'inicia el laminat de la fibra de vidre. S'aplica una capa de resina sobre el motlle amb un corró d'espuma especial per a laminats, que reté poca quantitat de producte per a assegurar que el repartiment sigui el més òptim possible. En acabat es presenta un panell de teixit de fibra de vidre sobre el motlle. Aquest començarà a absorbir la resina existent. Es fa ús del mateix corró per a estirar la fibra de vidre. Si apareixen bombolles d'aire en el laminat, s'usa un corró metàl·lic per a corregir el problema. S'apliquen tantes capes de fibra de vidre com sigui necessari, tenint en compte que a major capes, major espessor i resistència mecànica però també més pes.



Figura 94: Laminat de la coberta de proa sobre el seu corresponent motlle femella

En acabat el procés es deixa assecat el conjunt un mínim de quatre (4) hores abans d'arrencar la peça del motlle. Un cop fet, es deixa que aquesta sequi adequadament durant un període de temps més prolongat. Opcionalment també, es podran corregir desperfectes del laminat amb paper de vidre i màstic de polièster fi.

4.2.4 Procés de construcció del folre

S'explica a continuació el procés seguit per a la construcció del folre. El folre suposa la forma més complexa de fabricar de manera manual. La particularitat d'aquest component de ser clau per a la reducció de l'arrossegament comporta que el procés hagi de ser desenvolupat amb suma cautela i atenció als detalls per tal d'aconseguir la peça més fidedigna possible respecte dels dissenys.

El folre és fabricarà a través d'un procés de laminació manual de fibra de vidre, sense fer ús de processos de major complexió tals com la infusió.

Aquest mètode requereix de la construcció de dos motlles:

1. Un motlle mascle, que permetrà crear una representació de la superfície del buc a partir de la extracció de les seccions transversals del model en tres dimensions del folre creat durant el procés de disseny.
2. Un motlle femella, que permetrà el laminat final del folre sobre una superfície suau i progressiva, deixant les imperfeccions pròpies del solapament del teixit de fibra de vidre ocultes a l'interior del buc.

Sobre l'últim motlle es laminarà el folre en *gelcoat* i fibra de vidre amb resina de polièster, garantint d'aquesta manera una superfície suau i uniforme contribuint a la minimització de l'arrossegament per rugositat.

4.2.4.1 Material, eines i ubicació

Per a la fabricació del folre i dels motlles son necessaris els materials pressupostats en l'apartat 4.1.2 i que s'exposen en la taula (39) inferior.

Descripció	Unitats
Taulell de fusta conglomerada lacada en blanc de 1200 x 300 x 10 mm	1
Planxa de DM fina 500 x 1000 x 4 mm	2
Planxa d'espuma de poliuretà rígida de 2000 x 1000 x 50 mm	1
Màstic Epifanes de fibra de vidre 1,5 kg	1,5
Fibra de vidre Vosschemie 137.189 MAT 450 g/m2 (M2)	2
Resina de polièster EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG + 20 G)	2,5
Gelcoat EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG + 20 G)	0.2
Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	0,35
Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,7
Honey Wax cera per a desemmotllar en base carnauba 426 g	0,1
3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	2
3M Wetordry full de paper de vidre P120	4
3M Wetordry full de paper de vidre P220	2
3M Wetordry full de paper de vidre P400	2
3M Wetordry full de paper de vidre P600	2

Taula 39: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció del folre



Figura 95: Alguns dels materials necessaris per al procés de construcció del folre

Es farà ús del següent instrumentari i maquinaria

- Un joc d'espàtules quadrades d'aplicar màstic
- Unes tisoires
- Un cúter
- Una serra de vogir elèctrica
- Una màquina de fregar elèctrica
- Un bloc de fregar manual
- Una esponja
- Un drap de microfibres
- Un corró d'espuma per a laminar
- Un corró metàl·lic
- Pots de mescla i depressors per a barrejar

La construcció del motlle mascle es durà a terme en un local ventilat per a evitar la concentració nociva per a la salut humana de vapors contaminats. Qualsevol procés de laminat necessari es realitza en un espai resguardat d'acumulacions de pols a partir dels mitjans convenients.

4.2.4.2 Construcció del motlle mascle

Per a la fabricació del primer dels dos motlles necessaris per a poder laminar el folre es procedeix segons es descriu a l'apartat 4.2.1.

S'extreuen un total de vint (20) seccions equidistants cinc (5) centímetres entre sí, buscant la major precisió en aquest element. Es modifiquen amb *Rhinoceros 3D* per a dotar-les d'una base, per sota de la part convexa de la secció. Per a aquest motlle es fa servir un taulell de fusta lacada en blanc. Això dificulta que la resina de polièster s'adhereixi a la base del motlle i facilita la extracció d'aquesta ja que es permet laminar una pestanya perpendicular a la peça resultant.

Qualsevol aplicació de màstic es realitza buscant un espessor mínim per a evitar aberràncies en les dimensions finals del motlle. Es donen un total de tres (3) capes fregant entre capa i capa de manera manual amb paper de vidre de gramatge *P120* abans d'aplicar una capa de fibra de vidre i polièster. Sobre aquesta s'apliquen set (7) capes més de màstic de polièster per a assolir un acabat fi.



Figura 96: Motlle mascle del folre acabat

4.2.4.3 Construcció del motlle femella

Es fabrica un motlle femella a partir del motlle mascle per a assegurar la superfície més suau possible. Es construeix aquest en fibra de vidre segons s'exposa en l'apartat 4.2.2.

Es subdivideix el motlle en dues meitats per a facilitar la extracció de la peça final. Per al laminat de la peça final s'uniran les dues parts fent ús de cargols $M4^{28}$.

²⁸ De rosca mètrica i diàmetre quatre (4) mil·límetres



Figura 97: A la esquerra, motlle femella; a la dreta motlle mascle

4.2.4.4 Laminat i tallat final del folre

Es lamina el folre segons es descriu en l'apartat 4.2.2. Es fa servir el següent esquema de laminat:

- Dues capes de *gelcoat*.
- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING*²⁹ biaxial de gramatge 35 g/m².
- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m² amb les fibres orientades a 45 graus respecte l'eix de crugia.
- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m².

Passat el corresponent temps d'espera es separen les dues peces del motlle femella per a obtenir el component final.

²⁹ Fa referència a la fibra de vidre teixida de manera ordenada (biaxialment, triaxialment, ...)



Figura 98: Folre obtingut després de retirar el motlle femella

L'últim pas és retirar el material sobrant per a definir la forma final de la línia de borda. Es talla el material sobrant fent servir una serra de marqueteria i s'acaba d'afinar la forma amb paper de vidre de gram *P120*. La superfície del folre es frega a l'aigua amb paper de vidre *P600* per acabar d'assolir una forma ben suau.



Figura 99: Folre finalitzat

4.2.4.5 Control de qualitat del folre

Per a finalitzar el procés de construcció del folre es procedeix a realitzar el corresponent control de qualitat. Més enllà de la localització i solució de petits defectes de laminats, el control de qualitat al que es sotmetrà el folre consistirà en:

- Comprovar que *LOA* d'aquest no supera els 990 mil·límetres.
- Comprovar que el folre desplaça com a mínim 4 dm³ d'aigua dolça.
- Comprovar que la línia de flotació per a aquest desplaçament es troba a màxim 57 mil·límetres de la base.

Per a trobar el desplaçament aproximat del folre es procedeix a omplir-lo amb 4 dm³ d'aigua i projectar la línia d'aigua resultant amb un làser (es pot veure el volum d'aigua a través del folre). Per a trobar el desplaçament real quan el calat del folre es trobi a 57 mil·límetres de la base es projecta la línia d'aigua a aquesta altura i s'afegeix aigua progressivament.



Figura 100: Experiment per a trobar el desplaçament aproximat del folre

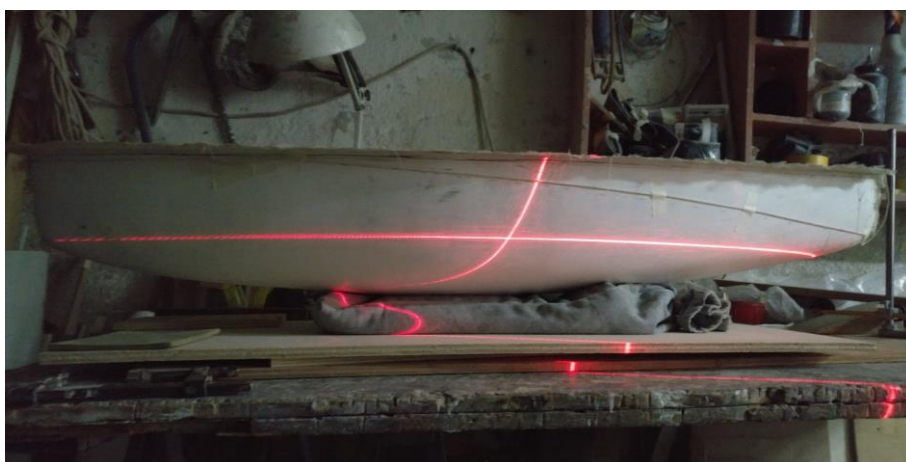


Figura 101: Projectió de la línia de flotació a desplaçament = 4000,00 grams

LOA ha de ser inferior ja que encara és necessari afegir l'element d'elastòmer als deu (10) primers mil·límetres a proa.

Les dimensions finals del folre es poden comprovar a la taula (40):

	Min	Max	Valor	
LOA	n/a	990	990	mm
B max	n/a	n/a	210	mm
T @ $\Delta = 4\,000,00\text{ g}$ (aproximat)	n/a	57	55	mm
Δ @ T = 57 mm (aproximat)	4 000	n/a	4 530	g

Taula 40: Dimensions del folre una vegada finalitzat

Totes les dimensions del folre es troben per sobre del mínim establert per les regles de classe. Pot justificar-se l'augment sensible de la màniga, i per tant del desplaçament del folre per l'adhesió de material (màstic i fibra de vidre) per sobre de les seccions transversals, que ja eren de la mida exacta que el model en tres dimensions. El conseqüent augment en pes es tracta de mitigar ajustant la línia de borda lleugerament. Amb aquesta última modificació es tanca el procés de construcció del folre.

4.2.5 Procés de construcció de la coberta de proa

En aquest apartat es descriu el procediment seguit per a la construcció de la coberta de proa. En la fase de disseny s'ha optat per dividir la coberta principal en dues: una coberta situada a la línia de borda i de forma convexa (la de proa), i una per sota, de forma còncava i amb pendent a popa (coberta de popa).

Per a la construcció d'aquest component només s'emprarà un motlle, de tipus femella. Es conformarà la coberta de proa per laminat de resina de polièster reforçada amb fibra de vidre.

4.2.5.1 Materials, eines i ubicació

Per a la fabricació del folre i dels motlles son necessaris els materials pressupostats en l'apartat 4.1.2 exposats en la taula (41).

<i>Descripció</i>	<i>Unitats</i>
Planxa de conglomerat de DM 1200 x 300 x 10 mm	0,5
Planxa de DM fina 500 x 1000 mm	1
Planxa d'espuma de poliuretà rígida de 1000 x 1000 x 50	1
Màstic Epifanes de fibra de vidre 1,5 kg	0,5
Resina de polièster EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG+ 20 G)	0,25
Gelcoat EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG + 20 G)	0.4
Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	0,15
Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,3
Honey Wax cera per a desemmotllar en base carnauba 426 g	0,1
3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec <i>P80</i>	2
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P120</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P220</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P400</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P600</i>	1

Taula 41: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de la coberta de proa

L'instrumentari i maquinaria a fer servir són els mateixos que per a la construcció del folre. Passa el mateix amb les condicions d'ubicació (veure apartat 4.2.4.1)

4.2.5.2 Construcció del motlle femella

La fabricació de la coberta de proa requereix de l'ús de només un motlle. Serà de tipus femella. Per a la elaboració del motlle es procedeix segons s'explica en l'apartat 4.2.1 de la present memòria. Es fan servir un total de cinc (5) seccions transversals, equidistants de (10) centímetres entre si. Es modifiquen fent ús de *Rhinoceros 3D* per a incorporar una base. En aquest cas, per sota de la part cònca de la secció transversal. També es fa ús d'una secció longitudinal, entre el punt més a proa de la coberta i la primera secció transversal.

Novament s'actua amb precaució a l'hora d'aplicar el màstic. Aquesta vegada no s'aplica cap capa de fibra de vidre i polièster. Es dona un total de sis (6) capes de màstic, fregades entre nova aplicació i nova aplicació primer amb paper de vidre *P120*, després amb *P220* i *P400* i finalment fregant a l'aigua amb paper de vidre de gra *P600*.

S'aplica per últim un total de nou (9) capes de cera de carnauba.



Figura 102: Motlle de la coberta de proa llest per al procés de laminació

4.2.5.3 Laminat i tallat final de la coberta de proa

Es lamina el folre segons es descriu en l'apartat 4.2.2. Es fa servir el següent esquema de laminat:

- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 35 g/m².
- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m² amb les fibres orientades a 45 graus respecte l'eix de crugia.
- Una capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m².

En aquest cas, a diferència del procés de laminat del folre, no s'aplica el *Gelcoat* sobre el motlle, si no que es fa posteriorment després de la extracció de la peça del motlle. Per a assolir un acabat fi, es frega la capa de *gelcoat* amb paper de vidre *P400* i *P600*. La operació es pot fer a màquina.

Per últim es tallen els extrems de la coberta.



Figura 103: Coberta de proa presentada sobre el folre

4.2.5.4 Control de qualitat de la coberta de proa

Aquest component només requereix la localització de possibles desperfectes de laminat i la correcció d'aquests amb màstic i paper de vidre. No escau cap comprovació de dimensions.

4.2.6 Procés de construcció de la coberta de proa

En aquest apartat es descriuen els sots-processos necessaris per a la construcció de la coberta de popa i les particularitats del procés.

Per a la fabricació de la coberta de popa es preveu l'ús d'un motlle mascle, sense motlle femella. Es realitza a partir d'un procés de laminat de resina de polièster reforçada amb fibra de vidre.

4.2.6.1 Materials, eines i ubicació

Es fan servir els materials pressupostats en l'apartat 4.1.2, i resumits en la taula (42) següent:

Descripció	Unitats
Planxa de conglomerat de DM 1200 x 300 x 10 mm	0,5
Planxa de DM fina 500 x 1000 mm	1
Planxa d'espuma de poliuretà rigid de 1000 x 1000 x 50	1
Màstic Epifanes de fibra de vidre 1,5 kg	0,5
Resina de polièster EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG+ 20 G)	0,6
Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	0,2
Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,5
Honey Wax cera per a desmoldejar en base carnaúba 426 g	0,1
Gelcoat EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG + 20 G)	0,6
3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec <i>P80</i>	2
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P120</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P220</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P400</i>	1
3M Wetordry full de paper de vidre <i>P600</i>	1

Taula 42: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de la coberta de popa

L'instrumentari i maquinaria a fer servir son els mateixos que per a la construcció del folre i la coberta de proa, així com les condicions d'ubicació (veure apartat 4.2.4.1).

4.2.6.2 Construcció del motlle mascle

Per a la construcció de l'únic motlle, de tipus mascle, necessari per al laminat de la coberta de popa; es procedeix segons s'explica a l'apartat 4.2.1 del present capítol. S'empren un total de deu (10) seccions transversals, espaiades segons s'indica a continuació, sent la secció transversal ú (1) la ubicada més a proa:

- Entre les seccions transversals 1 i 2: 25 mil·límetres.
- Entre les seccions transversals 2 i 7: equidistància de 50 mil·límetres..
- Entre les seccions 7 i 10: equidistància de 100 mil·límetres.

Després de fregar la espuma de poliuretà, s'apliquen dues (2) capes de màstic, fregades amb paper de vidre de gra *P120* entre mà i mà, una (1) capa de fibra de vidre i cinc (5) capes més de màstic fregades primer amb gra *P120* i fins a acabar la última mà amb fregat a l'aigua i gra *P600*.

S'apliquen nou (9) mans de cera de carnauba.

4.2.6.3 Laminat i tallat final de la coberta de popa

Es lamina el folre segons es descriu en l'apartat 4.2.2. i fent servir el següent esquema de laminat:

- Dues (2) capes de *Gelcoat*.
- Una (1) capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 35 g/m².
- Una (1) capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m² amb les fibres orientades a 45 graus respecte l'eix de crugia.

- Una (1) capa de fibra de vidre teixit *ROVING* biaxial de gramatge 160 g/m².

Es deixa assecar el component durant quatre (4) hores abans de procedir a desemmotllar la peça final. Posteriorment es deixa curar el component les pertinents hores. En acabat el procés es forada el registre per accedir al local dels components electrònics i les obertures per introduir la caixa d'orsa i la llimera posteriorment.



Figura 104: Cobertes de proa i coberta de popa afinades abans de tallar la forma final

En la figura (104) es pot apreciar la diferència de resultat entre l'aplicació del *gelcoat* sobre una superfície ja acabada i posterior fregat (a la esquerra, coberta de proa) i l sobre el motlle durant el procés de laminat (a la dreta, coberta de proa).

4.2.6.4 Control de qualitat final

El control de qualitat de la coberta de popa consisteix a localitzar i corregir els possibles defectes de laminat amb màstic i paper de vidre.

4.2.7 Procés de construcció de les mampares

Per acabar la construcció dels components del buc, es construeixen les quatre (4) mampares dissenyades. El procés de construcció resultarà força més simple que cap dels tres processos descrits anteriorment ja que es tracta de peces planes que no requereixen de la construcció de motlle.

4.2.7.1 Materials, eines i ubicació

Els materials a emprar son els exposats a la taula (43) a sota:

Descripció	Unitats
Màstic Epifanes de fibra de vidre 1,5 kg	0,2
Resina de polièster EURORESINS + Peròxid de MEK (1 KG+ 20 G)	0,5
Fibra de vidre VOSSCHEMIE 137.189 MAT 450 g/m2 (M2)	1
3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	1
3M Wetordry full de paper de vidre P120	1
3M Wetordry full de paper de vidre P220	1
3M Wetordry full de paper de vidre P400	1
3M Wetordry full de paper de vidre P600	1

Taula 43: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció de les mampares

Les eines a fer servir son les mateixes que en els processos anteriors a més d'un *Dremel*. Malgrat es tracta d'un procés més senzill no deixa de requerir un laminat, i per tant la ubicació complirà les mateixes condicions que ha complert en els processos anteriors.

4.2.7.2 Laminat i tallat final de les mampares

Per a la construcció de les mampares es lamina, segons s'indica en l'apartat 4.2.2 una planxa plana de resina de polièster amb fibra de vidre fent ús d'una base de qualsevol material degudament protegit (amb cera desemmotllant, cinta de PVC, ...).

S'imprimeixen les quatre (4) mampares en un foli de paper (una per foli) i es retallen amb unes tisores. Es fa servir el foli retallat com a plantilla. Fent servir una serra de vogir i una fregadora elèctrica es tallen les mampares i es desbasta el *composite* excessiu fins a ajustar les dimensions a la forma desitjada. Per a certes formes resultarà més senzill fer ús d'un *Dremel*.



Figura 105: A la esquerra: mampara 3 amb Gelcoat aplicat; a la dreta: mampares 2 i 1 en procés d'afinat

4.2.7.3 Control de qualitat final

Novament només caldrà localitzar i corregir possibles defectes de laminat amb màstic i paper de vidre de diversos gramatges, especialment en la mampara 2, que quedarà a la vista acabat el muntatge final de la embarcació i caldrà preparar aquesta superfície adequadament per a un futur procés de pintat.

Amb la finalització del procés de construcció de les mampares conclou també el procés de fabricació dels components del buc, si bé encara no es pot procedir amb el muntatge final fins que la caixa d'orsa i la llimera no es trobin finalitzades.

4.3 Procés de construcció dels apèndixs

Es descriu en aquest apartat el procés de construcció seguit per a fabricar tots els apèndixs que conformen la embarcació (orsa i bulb, i timó) així com els components de tots els sistemes de subjecció dissenyats.

A excepció del bulb, que es conformarà per un procés de fossa, tota la resta d'apèndixs es construiran a partir d'un procés d'impressió en tres dimensions fent servir una impressora de filament.

4.3.1 Construcció del bulb

A continuació es descriu el procediment de construcció seguit per a la fabricació en plom del bulb. A aquest material se li pot atorgar forma a través de diversos processos de conformat. Un dels més emprats és el conformat per fossa, consistent a fondre el material i abocar-lo dins d'un motlle per a que adopti la forma d'aquest un cop fos.

4.3.1.1 Materials, eines i ubicació

Per a la construcció del motlle que requereix el procediment escollit per a la fabricació, com per a la fabricació de la peça final, serà necessari el material i les quantitats exposades a la taula (44) a continuació:

<i>Descripció</i>	<i>Unitats</i>
Guix BEISSIER 1 kg	2
Plom (KG)	2,5
Filament per a impressió 3D RS PRO CARBON-P (G)	500

Taula 44: Llista de materials necessaris i quantitats per al procés de construcció del bulb

Serà necessari també un bufador per a la fusió del plom, un contenidor de dimensions adequades per a la fabricació del motlle, una esmoladora, una fregadora elèctrica i un *Dremel*.

La ubicació per al procés de fossa haurà de ser adequada per a tal propòsit, evitant l'existència de materials inflamables o que puguin incendiar-se accidentalment.

4.3.1.2 Construcció del motlle per al bulb

Per a construir el motlle es procedeix tal com s'indica en aquest apartat.

El primer pas és extreure un model real procedent de la representació en tres dimensions del bulb creat durant la fase de disseny. Per a tal propòsit es pot actuar per dues vies diferents:

1. Es poden imprimir seccions transversals i/o longitudinals del bulb, i procedir de manera semblant a l'exposat al punt 4.2.1. Aquesta manera és més artesanal, requereix d'una mà d'obra més especialitzada i resulta més lenta de realitzar. Però és la manera més econòmica.
2. Es pot imprimir en tres dimensions un model del bulb a escala real.

En el cas d'aquest projecte, s'opta per imprimir un model del bulb en tres dimensions. Fent ús d'aquesta reproducció es procedeix a crear un motlle femella en guix. Aquest material àrid resistirà la temperatura de fusió del plom i actuarà de continent quan aquest es trobi en estat líquid. S'envolta una meitat del model amb guix i s'ubica sobre una base dins d'un recipient que contindrà el guix fins que aquest s'assequi. Una vegada assecat es pot extreure la reproducció, quedant aquesta impresa en negatiu a una meitat del motlle.

Es repeteix el procés una altra vegada, obtenint un motlle dividit en dues meitats simètriques. Això permet la construcció monolítica del bulb.

Per acabar el procés, una vegada el guix s'ha assecat completament es practica una obertura per on s'abocarà el plom amb un *Dremel*. Cal anar amb cura de no esquarterar el motlle.



Figura 106: Motlle femella del bulb ja construït

4.3.1.3 Procés de conformat per fossa del bulb

Per a fabricar la peça final es procedeix a fondre una quantitat superior a 2200,00 grams de plom en un recipient adequat fent servir un bufador. El plom fon a 327° C aproximadament, per tant qualsevol recipient d'alumini, acer o ceràmic hauria de resistir la temperatura. Fos aquest, s'aboca aquest a l'interior del motlle a través de l'obertura practicada anteriorment. Quan el motlle s'ha omplert del tot es deixa refredar aquest fins a que el plom torni al seu estat sòlid, natural a temperatura ambient.

Una vegada enfredat el conjunt, es separen les dues meitats del motlle i s'extreu la peça. Queda retirar amb una esmoladora el sobrant de plom provocat per el refredament del plom a la obertura del motlle. Per a fer-ho es pot fer servir una esmoladora, o un *Dremel* equipat amb l'accessori adequat.



Figura 107: Bulb en plom i orsa impresa en 3D acabats de fabricar

Per a acabar la peça es procedeix a la creació del recinte central on s'hi encastarà la orsa una vegada s'hagi construït.

4.3.1.4 Control de qualitat del bulb

L'únic control de qualitat que escau per al bulb és realitzar un pesatge d'aquest. El valor de disseny era de 2157,32 grams i el pes del bulb hauria de trobar-se en un valor semblant.

Si es considera el pes de disseny de la orsa (258 grams), el pes del bulb s'hauria de trobar entre 1942 i 2242 grams.

Es procedeix a pesar el bulb amb una balança. El resultat és 2317,00 grams. El pes és excessiu, i pot deure's a aberràncies aparegudes durant la construcció del motlle. Per a corregir el problema es procedeix retirant material amb un trepant i substituint-lo per màstic de polièster, molt més lleuger que el plom.

4.3.2 Impressió en tres dimensions

La resta del conjunt d'apèndixs, incloent els components dels sistemes de fixació de la quilla i de fixació i accionament del timó; per la seva complexitat de forma convé fabricar-los a partir d'una màquina eina automatitzada.

L'ús d'una impressora en tres dimensions, per la seva accessibilitat i simplicitat com pel baix cost econòmic de la fabricació de les peces finals resulta la opció més avantatjosa. Doncs no es possible fabricar cap peça amb un torn per control numèric, i una fresadora per control numèric no es tan accessible ni tant econòmica. A part, el ventall de matèries primeres per a la impressió en tres dimensions és molt més ampli, i això permet escollir el material que millor s'adapti a les condicions de treball i de fabricació de la peça a conformar.

4.3.2.1 Descripció de l'equip i el filament per a la impressió en 3D

Per al procés es farà servir una impressora en tres dimensions *Boloberry Prusa P3* de característiques tècniques exposades a la taula (45)

Dimensions de la impressora	450 x 430 x 450	mm
Àrea d'impressió	200 x 200 x 200	mm
Resolució en eix z	0,06	mm
Velocitat de moviment màxim	200	mm/s

Taula 45: Característiques tècniques de la impressora a emprar - *Boloberry*

El filament a emprar per a la impressió en tres dimensions serà de *CARBON-P*. Les característiques mecàniques i tècniques d'aquest filament es poden consultar a l'apartat 3.3.1.2 "*Materials per a la construcció dels apèndixs*", al capítol 3 'aquesta memòria.



Figura 108: Carret de filament de *CARBON-P* - *RS Components Online*

4.3.2.2 Procediment d'impressió en tres dimensions

S'explica a continuació com procedir per a imprimir un sòlid procedent d'un model informàtic tridimensional fent ús d'una impressora com la descrita en l'apartat anterior.

El primer pas és exportar el sòlid en qüestió a format *.stl*, que és el que empra el *software* de control de la impressora 3D a fer servir. Per a fer-ho es selecciona un sòlid en concret a *Rhinoceros 3D* i es guarda en el format adequat a partir de la opció *Exportar Selección*.

S'ha de crear un arxiu *.stl* per a cadascun dels elements següents, que seran impresos en el mateix ordre:

1. La caixa d'orsa.
2. La llimera.
3. La orsa.
4. El timó.
5. El passant per a la subjecció de l'orsa.
6. El tancament per a la subjecció de l'orsa.
7. La canya per a l'accionament del timó.
8. El topall per a la subjecció del timó.

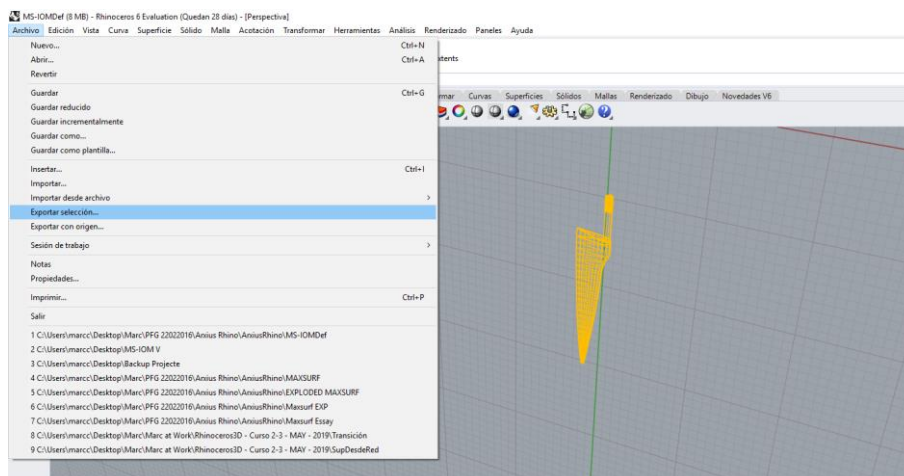


Figura 109: Procés d'exportació a .stl de la pala del timó fent ús de Rhinoceros 3D

El mateix arxiu s'importa al *software* de control de la impressora (anomenat Cura) i es configuren correctament els paràmetres de material, espessor de paret, resolució i factor d'emplenament.

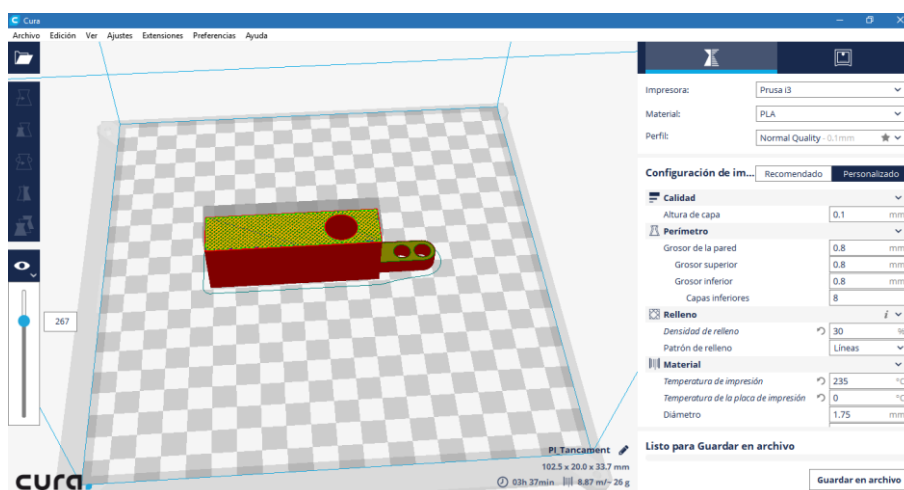


Figura 110: Tancament importat al *software* de control de la impressora 3D i paràmetres introduïts

Finalment s'envia l'ordre d'impressió a la impressora i es deixa que aquesta completi la feina. Sol ser un procés de varies hores. A major mida i factor d'emplenament de l'element, més temps de fabricació. En els casos que la peça sigui superior a l'àrea d'impressió es divideix la peça en dos components que seran enganxats posteriorment. El material acabat es pot fregar amb paper de vidre per a aconseguir un acabat suau.

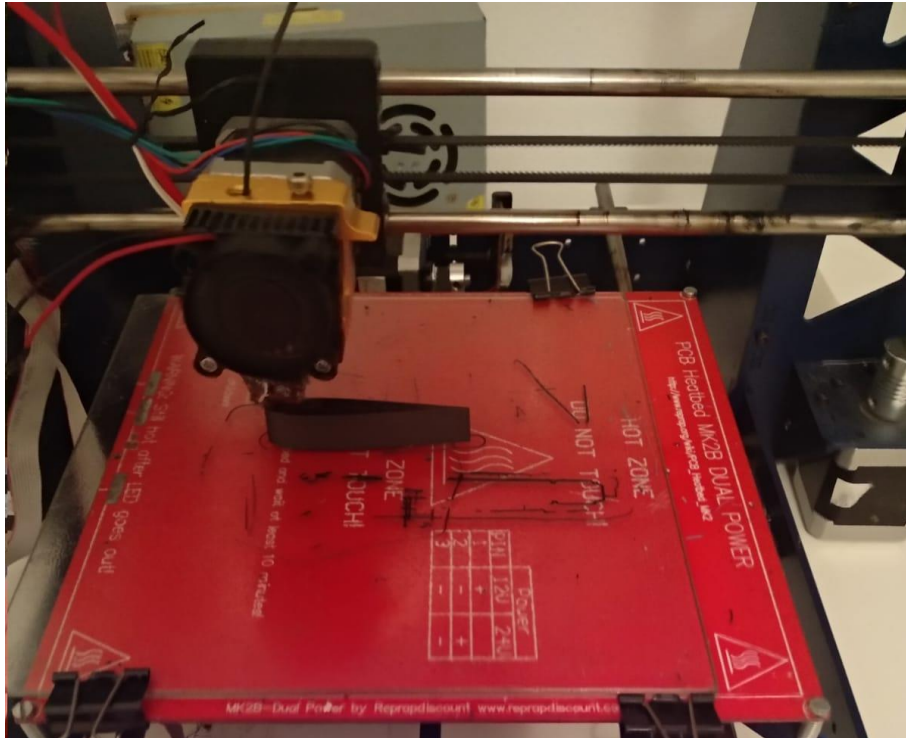


Figura 111: Impressora 3D imprimint una secció de la orsa

4.3.2.3 Control de qualitat

Cal, de nou pesar els elements obtinguts del procés d'impressió per comprovar que coincideixen amb el valor de disseny calculat per a aquests.

Els valors obtinguts es resumeixen en la taula (46) a sota. També s'hi pot veure el valor de la massa estimada durant la fase de disseny.

	Massa		
	Calculada	Real	
Orsa	258,42	246	<i>g</i>
Caixa d'orsa	70,55	102	<i>g</i>
Passant	11,83	8	<i>g</i>
Tancament	22,2	12	<i>g</i>
Timó	18,59	11	<i>g</i>
Llimera	10,91	15	<i>g</i>
Canya	2,11	2	<i>g</i>
Topall	1,41	1	<i>g</i>

Taula 46: Pesos calculats i pesos reals dels components impresos per impressió 3D

Si bé els pesos no son exactament els mateixos, la suma de tots ells es compensa (obtenint una diferència de tan sols 5 grams) i per tant la influència sobre la estabilitat real de la embarcació no serà prou gran com per desestimar cap dels components i haver-lo de repetir. La conclusió de la operació d'impressió en tres dimensions comporta també la finalització del procés de construcció dels apèndixs, permetent el muntatge final per a finalitzar el projecte.

4.4 Muntatge final

Acabada la fabricació de tots i cadascuns dels components que conformaran la embarcació, es procedeix a muntar-los tots en la seva posició de disseny.

Amb aquesta fase conclourà el procés de construcció de la embarcació.

En aquest apartat es descriuen els processos seguits per al muntatge final de tots els components que conformaran la embarcació en la seva posició correcta i de forma que es compleixin les restriccions de les regles de classe.

4.4.1 Muntatge del buc

Per a acabar el buc cal unir els següents elements, i per aquest ordre, al folre i en la posició dissenyada per a cadascun:

1. Mampara 1.
2. Mampara 2.
3. Mampara 3.
4. Mampara 4.
5. Caixa d'orsa.
6. Llimera.
7. Coberta superior.
8. Coberta inferior.

4.4.1.1 Materials per al muntatge final del buc

Per al muntatge del buc, i d'acord a l'establert a la secció D: Buc, de les regles de la classe *IOM* (veure apartat 2.1.4 *Secció D: Buc*) s'empraran els materials de la llista inferior:

<i>Descripció</i>	<i>Unitats</i>
Adhesiu SABATACK 780 MS Polímer blanc 300 g	1
Resina de polièster EUORESINS + Peròxid de MEK (1 KG+ 20 G)	0,6
Màstic VOSSCHEMIE de polièster reforçat amb fibra de vidre 500 g	1

Taula 47: Llista de materials necessaris i quantitats per al muntatge final del buc i els apèndixs

Els materials de la taula (47) s'empraran també per a l'encast de la orsa al bulb.

4.4.1.2 Procediment per al muntatge dels components del buc

A continuació es descriu el procediment emprat per al muntatge dels components que conformaran la estructura del buc.

S'adhereixen les quatre (4) mampares a la seva posició de disseny, segons es mostra a la figura (50) (veure apartat 3.2.4 *Disseny de les mampares*). Per a fer-ho s'empra màstic de polièster reforçat amb fibra de vidre. Aquest producte permetrà una adhesió resistent entre les mampares i el folre ja que tant aquests dos com el màstic son en base polièster. Si cal, s'ajusta la forma final de les mampares amb paper de vidre i/o un *Dremel* amb l'accessori de fregat adequat.



Figura 112: Mampares 1 i 2 adherides al folre

El pas següent és fixar la caixa d'orsa contra la mampara 2 i la base interna del folre. En aquest punt es practica la obertura al folre a través de la qual passarà la quilla fins a la part superior de la caixa d'orsa per a ser fixada.



Figura 113: Caixa d'orsa i llimera adherides al folre

En acabat es fixen les dues cobertes a la seva posició final, i s'ajusta la mida d'aquestes amb una fregadora elèctrica. Per a fixar-les es fa servir resina de polièster.

Finalitzat aquest pas s'afina les superfícies exteriors del buc que poguessin ser pintades per a aconseguir un acabat de pintura excel·lent.



Figura 114: Buc amb tots els components ubicats al seu lloc

4.4.2 Muntatge dels apèndixs

L'únic apèndix que cal acabar de muntar es la quilla a través de l'encast de la orsa dins d'una ranura practicada al bulb. Per a adherir-lo s'empra adhesiu polimèric i s'afegeixen unes vares metàl·liques a l'orsa per a aportar rigidesa a la zona d'encaix amb el bulb. Es deixa assecar el conjunt.

Acabat aquest primer pas es fixen tots els components en la seva posició final a partir dels components del sistema de fixació de la quilla i el timó.

Amb aquesta operació es finalitzen totes les tasques de construcció que compren aquest projecte.

Capítol 5. Conclusions

Conclou la descripció de tots i cadascuns dels processos i sots-processos duts a terme per a la realització d'aquest projecte, s'exposen a continuació les conclusions obtingudes sobre la categoria *IOM* i la seva història, les regles de classe, el procés de disseny i la posterior fase de construcció.

De la història del modelisme naval, les institucions que la regulen, la classe IOM i sobre el modelisme naval com a esport...

Les regates de modelisme naval tenen un origen molt antic. Ja des de finals del *S.XIX*, abans que existissin equips de radio control, existia el modelisme naval, amb dissenyadors i patrons d'arreu del món i amb unes regles pensades per a regular les competicions entre els diferents països. Diverses institucions internacionals van néixer a principis del *S.XX* amb l'esperit de promoure el modelisme nàutic i durant la primera meitat de segle l'activitat en aquesta àrea va ser força frenètica. L'aparició dels primers equips de radio control va re-activar en certa manera aquesta activitat, que va perdre activitat a mitjans de segle.

La classe *IOM* és possiblement la creada més recentment. Malgrat això es tracta d'una categoria molt popular amb un gran nombre d'associacions nacionals de classe i on s'hi poden trobar els patrons amb més tècnica. Proves d'això en són la contínua actualització de les normatives, la existència d'institucions nacionals i internacionals per a la promoció i regulació de la classe i la celebració regular de campionats d'aquesta categoria. Aquesta classe és la que té les regles de classe més actualitzades (any 2017).

La classe *IOM* és una categoria força restrictiva en relació amb altres classes també regulades per *World Sailing* i la *IRSA*, on no es restringeixen tants paràmetres de la embarcació i/o es dona molta més llibertat tant per al disseny del buc i la embarcació en sí com en el disseny dels aparells vèlics i els apèndixs. És la embarcació de vela a radio control més compacte d'entre les classes de la *IRSA*.

La classe *IOM* és d'elevada popularitat a Catalunya i Espanya, molt per sobre d'altres classes amb regulació de classe. Catalunya disposa d'associació nacional de classe (*IOMCAT*).

En quant a la pregunta de si la vela a radio control és un esport, entenent aquest com una activitat o exercici físic, subjecte a un conjunt de normatives on es fa prova (amb o sense competició) d'habilitat, destresa o força física (o una combinació), es podria donar una resposta afirmativa. Doncs es tracta d'una activitat física (sobretot mental), existeix un marc normatiu regulat a més per institucions de caire internacional; i es posa a prova les capacitats d'un patró per a navegar la embarcació i obtenir el màxim profit possible de les diverses situacions.

De la normativa de la classe IOM...

Es una normativa estricta i molt exhaustiva. Limita, generalment amb màxims i/o mínims totes aquelles dimensions (del buc, dels apèndixs, de les veles, ...) les quals permeten obtenir un guany en velocitat o en estabilitat. Convida a pensar que no dona peu a massa creativitat per part de l'enginyer per al disseny de la embarcació, havent-se de centrar principalment en que aquest compleixi les regles de classe. A la vegada limita qualsevol material que pugui suposar un gran guany en qualsevol d'aquests dos aspectes. No restringeix aquelles característiques que provoquen augment de l'arrossegament, tal com la màniga.

Malgrat ser una norma ben estricta, és coherent a l'hora de permetre la obtenció d'una embarcació econòmicament assequible i força semblants entre sí, prohibint la utilització en gran volums de materials sofisticats i d'alt cost adquisitiu com la fibra de carboni i limitant amb intervals mínims i màxims pràcticament qualsevol dimensió bàsica o massa de la embarcació, o dels components d'aquesta. Això comporta que tots els dissenys siguin semblants.

Del procés de disseny del buc...

Les formes del folre suposen un llarg procés de prova i error debut a la presència de molts factors a tenir en compte i que fan que el procés sigui més complex. A mesura que s'avança en el procés de disseny, la diferència entre els resultats obtinguts son més petites. Arribats a cert punt, millorar en un factor comporta empitjorar en un altre ja que les característiques que afavoreixen un valor i altre son contràries. Obtenir millores passat aquest punt resulta pràcticament impossible.

Contràriament al que pot convidar a pensar el gran nombre de restriccions establerts en les regles de classe, hi ha infinitat de factors on la mà del dissenyador pot influir per buscar un disseny més òptim de cara a la obtenció d'un objectiu particular i conferir a una determinada embarcació unes característiques diferents a les de la mitja. Si bé les dimensions bàsiques estan molt limitades, no ho estan la forma dels pantocs, la màniga, la forma de les línies d'aigua, etcètera i en aquests paràmetres és possible actuar per a minimitzar la resistència sense variar les dimensions bàsiques de la embarcació.

Pràcticament totes les formes obtingudes del procés de disseny del folre han seguit unes hipòtesis de millora basades en la alteració dels mateixos paràmetres. El resultat en la primera iteració no ha sigut satisfactori del tot, però lluny de variar-les i cercar altres vies per a millorar, s'han mantingut les mateixes hipòtesis implementades de manera diferent. Això ha comportat que la segona, tercera, i quarta i definitiva repetició del procés hagin resultat en un compliment de l'objectiu que es cercava: reduir l'arrossegament.

Partint de la base del folre, el disseny d'elements com les cobertes i les mampares resulta molt més simple. Doncs la forma d'aquests pràcticament queda totalment definida pel folre i no hi ha pràcticament cap restricció dimensional, només en matèria de materials.

Al haver dissenyat prèviament el folre, estar limitats per les dimensions d'aquests i no ser elements tant influents en el comportament de la embarcació, el disseny de les cobertes i les mampares resulta molt més ràpid. En aquests components la creativitat de l'enginyer o el dissenyador no aporten massa valor afegit, podent únicament idear alguna manera d'evitar i/o evacuar acumulacions d'aigua.

De la estimació de masses...

Es tracta novament d'un procés iteratiu, on cal realitzar diversos càlculs prova i error per a acabar aconseguint el resultat desitjat. En aquest procés i per la desconexió de les dimensions reals de molts dels components futurs de la embarcació cal ser previsor i estudiar sempre la situació menys favorable possible, fins i tot considerar una possible superació del desplaçament per al que s'ha calculat el folre ja que el marge que s'ha considerat per a aquest és relativament petit. Convé per tant realitzar les estimacions a l'alça.

Malgrat s'estima una massa final superior al desplaçament de disseny, no suposa un greu problema ja que durant la fase de disseny del buc s'han deixat certs marges, precisament per evitar que una situació així suposés tornar enrere i compliqués encara més un procés de disseny (el del buc) ja de per sí complex i extensiu.

Del posicionament d'elements...

S'ha de fer ús del sentit comú: al no haver dissenyat gran part dels elements posicionats prèviament, la posició ideal desitjada per al enginyer en quant als càlculs podria perfectament ser impossible portada a la realitat. En aquesta fase cal tenir previsió i realitzar el posicionament no només cercant el resultat buscat, sinó també un resultat que s'assumeix serà possible de dissenyar, i no suposarà un problema que faci tornar enrere.

L'estudi de la posició dels elements permet identificar els components que major influència tenen i en quina magnitud, i aquesta experiència pot ser emprada futurament en sots-processos de disseny vinguts a partir d'aquest punt.

Del disseny dels apèndixs...

Si es segueix un perfil *NACA0015* la creativitat en quant al disseny del bulb és pràcticament inexistent. No obstant, sorgeix la hipòtesi que es poden obtenir formes que minimitzin més l'arrossegament d'aquest element modificant la secció de proa del component i fent que aquesta adopti formes més afilades, malgrat s'hagi d'optar a un bulb més llarg.

Pel que fa a la orsa, tampoc hi ha massa espai per a un disseny creatiu. No obstant, si que es pot jugar amb aquest per aconseguir una millor distribució dels esforços creats sobre aquesta per la acció del bulb i aconseguir un millor comportament estructural. Fer que la màniga màxima coincideixi longitudinalment amb el centre de gravetat del bulb fa que els esforços creats no siguin tan grans, i es provoqui una menor flexió del component. Tot això sense variar l'espessor màxim de la orsa.

Respecte al timó, la llibertat en la forma d'aquest es total. No obstant, es tendeix a imitar el perfil d'una pala ja creada anteriorment per desconeixement de quina forma pot ser la més favorable per al rendiment de la embarcació. El disseny s'ha inspirat en el timó que equipen els velers de regates del fabricant *Wally*, famosos per ser velers d'alt rendiment i molt apreciats dins de l'esport de la vela, i el procés de construcció per impressió en 3D permet obtenir una reproducció a escala força fidedigna.

En referència a tots els sistemes de fixació, en aquest punt i dins del compliment de la norma en matèria de materials; hi ha absoluta llibertat per a la creació dels components i formes que l'enginyer consideri oportuns. Amb un criteri encertat, es pot cercar un disseny creatiu, que no faci servir els mètodes de fixació comuns i que faciliti la extracció dels components quan per trencament o necessitat s'hagin de retirar. El posterior procés de construcció acabarà de corroborar que els dissenys ideats per als sistemes de fixació tant de la quilla com el timó

De l'estudi tècnic final...

La presència dels apèndixs suposa un augment molt superior a l'inicialment considerat. Mentre que, per exemple a quinze nusos la forma *MS-IOM V* assoliria un arrossegament mitjà de 26.85 Newtons, quan s'han

introduït els apèndixs a l'estudi s'ha augmentat aquest valor fins als 58.37. Suposen doblar la resistència del folre. Tenint en compte que tots ells es desplacen per sota de l'aigua, és coherent que l'arrossegament es vegi notablement augmentat quan es consideren aquests elements.

Tal i com se suposava, la estabilitat total de la embarcació depèn en gran part de la presència del bulb i el repartiment de masses final. Quan es considera aquest últim factor, el braç d'adreçament es dispara: mentre que sense considerar les masses la forma *MS-IOM V* només obtenia un *GZ* de 88 mil·límetres, quan aquestes entren en joc el resultat per a la mateixa escora és de 288. Això confirma que, efectivament a l'hora de dissenyar les formes, no era el criteri més important a considerar.

En base a l'anteriorment esmentat es pot concloure que el disseny de les formes del folre ha estat ben encaminat. En aquest element sí es permet obtenir una millora substancial en la resistència. No obstant pel que respecta a la estabilitat de la embarcació, son el disseny dels apèndixs i la distribució de masses la clau per a maximitzar el resultat. Sorgeix la hipòtesis que es pot millorar tant la resistència de la embarcació com la estabilitat a partir del re-disseny de la forma del buc. Amb el material emprat, difícilment es pot reduir l'espessor de l'orsa.

Efectivament l'estimació de masses s'havia fet a l'alça. Els perfils *NACA0015* emprats per al disseny del bulb, la orsa i el timó; de superfície inferior a la d'un rectangle han provocat que el pes final dels components sigui força més baix en comparació amb la estimació prèvia a les fases de disseny pertinents. Coherent, ja que el volum final també ha sigut menor que el volum inicial. Aquest factor és el principal causant que de la previsió de sobrepassar el desplaçament de disseny de la embarcació s'acabi amb la necessitat d'emprar llast per a complir el pes mínim, fet que representa un avantatge: doncs ara es disposa de cert marge per a poder ajustar l'equilibri de la embarcació.

El mateix procés d'impressió en 3D a partir del factor d'emplenament (determina quant ple es troba el sòlid a l'interior d'aquest) suposa *per se* un altre mètode per a acabar d'ajustar a conveniència el pes final de cada element. Un menor percentatge d'emplenament comporta una menor resistència mecànica, però molts dels components dissenyats no estaran sotmesos a un esforç tal com per requerir un factor del 100% i per tant resulta una eina molt útil per a cercar la massa objectiu, especialment en els components dels sistemes de fixació dels apèndixs.

El procés de càlcul del llast és un altre exemple de disseny en espiral. A partir de la prova i error es determinen tant la mida d'aquest com la posició. Cal buscar un equilibri entre enrederir *LCB* i augmentar *VCG*. Doncs, al final, es tracta d'una massa ubicada per sobre del *VCG* global de la embarcació i això provoca un lleu augment d'aquest i en conseqüència la reducció de la estabilitat d'aquesta.

De la planificació...

Resulta pràcticament impossible realitzar una planificació exacta sense experiència prèvia dels temps d'execució de les tasques. Errors en la execució, falta de materials, trencaments, correccions i repeticions fan que aquesta planificació realitzada a l'inici no tingui cap semblança amb la realitat.

La disposició de més recursos tant materials, com humans com econòmics a mesura es trasllada en un decreixement de les hores de producció del producte final.

De la construcció del buc...

El folre resulta llarg de construir. El motlle requereix un procés molt manual i meticulós, que comporta una alta inversió d'hores i material a més d'una molt alta atenció en cada moment per a evitar aberracions en la forma d'aquest i per tant no reproduir el disseny adequadament. Les dues cobertes, de dimensions més petites resulten més senzilles i ràpides de construir. No disposen de formes tan definides com el folre, i es poden construir fent ús d'un sol motlle, fet que redueix el temps de producció notablement.

Qualsevol procés de construcció a partir d'un disseny que no ha contemplat toleràncies per l'addició de màstic o altres materials pateix alteracions. El folre, les cobertes i les mampares han patit un augment en les seves dimensions. Aquest mateix augment és el que justifica el decreixement del calat del buc quant aquest desplaça exactament 4000,00 grams d'aigua dolça. Té més volum, per tant desplaça una quantitat de líquid major. Possiblement la resistència es veurà afectada negativament, també.

De la construcció dels apèndixs...

La possibilitat de reproduir a escala real el bulb a partir de la impressió en 3D d'aquest permet fabricar després un motlle molt fidedigne en forma. No obstant, degut a la gran densitat del plom, una lleu desviació que es pot deure al procés manual de construcció del motlle femella acaba resultant en una gran diferència entre el pes de disseny (2157 grams) i el resultant (2315). Això provoca haver d'emprendre accions correctives, ja que en cas de dur a terme una mesura per a obtenir el certificat, s'incompliria la normativa.

La impressió de la resta d'apèndixs i sistemes de fixació per 3D permet una creació precisa de tots els elements dissenyats anteriorment. S'elimina el factor humà i al ser tot realitzat per un *software* informàtic resulta un procés senzill, de baix cost, relativament ràpid i sense massa aparició de problemes. No obstant, algunes peces s'han de repetir aplicant diferents orientacions o configuracions al no obtenir un resultat satisfactori a la primera. La diferència entre els pesos projectats i els pesos dels components obtinguts és de uns 5 grams. El procés de impressió en 3D elimina el factor humà en la seva pràctica totalitat, havent únicament de configurar la impressora. Això pot explicar tal exactitud.

Del muntatge final de la embarcació...

El millor material per unir dos elements construïts amb el mateix material és aquell que s'ha emprat per a la construcció d'aquests. Per exemple, per a enganxar els components del buc, fets de resina de polièster i fibra de vidre el millor material per a unir-los resulta ser el màstic de polièster o la mateixa resina. En elements fabricats amb materials diferents, un adhesiu polimèric és la opció més robusta.

Els components requereixen cert ajustament abans del seu muntatge final fent ús de paper de vidre debut a les alteracions que s'han produït en els motlles. La diferència de dimensions en el folre finalment obtingut provoca que s'hagin de fregar les cobertes i les mampares per a ajustar la forma final a les formes d'aquest. Es demostra que el folre és un component d'alta influència no només durant la fase de disseny sinó també en la fase de construcció.

Malgrat el procés d'impressió 3D és informatitzat, alguns dels elements també s'han de fregar amb paper de vidre. La causa d'això és la consideració de toleràncies massa petites i la rugositat de les peces, que

provoquen que un cop impreses no acabin d'encaixar amb la llibertat idònia i per tant fan necessari un petit ajustament.

Malgrat el procés de construcció de tota la embarcació és en gran part un procés artesanal, el resultat final pot resultar ser força semblant als dissenys, si es disposa de la experiència, habilitat, temps material i eines (per ordre de major a menor influència) i si tots els processos artesanals han rebut l'atenció que requereixen. Sorgeix la hipòtesi que es pot obtenir un resultat final molt més proper als dissenys utilitzant la tecnologia de la impressió en 3D per a la fabricació dels motlles previs al laminat de folre i cobertes.

Bibliografia

- [1] EGEA, P. Historia de las regatas internacionales de Vela RC (I). A:
EGEA, P. *Apuntes de Bitàcora* [en línia]. Madrid, Abril 2009
[Consulta: 3 de Maig de 2019].
Disponible a: <http://apuntesdebitacora.com/curiosidades/historia-del-modelismo-a-vela-de-competicion-i/>
- [2] EGEA, P. Historia de las regatas internacionales de vela RC (II). A:
EGEA, P. *Apuntes de Bitàcora* [en línia]. Madrid, Abril 2009
[Consulta: 3 de Maig de 2019]
Disponible a: <http://apuntesdebitacora.com/curiosidades/historia-de-las-regatas-internacionales-de-vela-rc-ii/>
- [3] US VINTAGE MODEL YACHT GROUP. Model Yachting in the United States. The early days A:
USVMYG. *US Vintage Model Yacht Group*. [en línia]. San Diego, 2019
[Consulta: 3 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://usvmYG.org/history/>
- [4] IRSA. About. A:
IRSA. *IRSA World Radio Sailing* [en línia]. 2019
[Consulta: 3 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://www.rudiosailing.org/about>
- [5] WORLD SAILING. What is World Sailing?. A:
WORLD SAILING. *World Sailing*. [en línia]. 2019
[Consulta: 4 de Maig de 2019]
Disponible a: <http://www.sailing.org/about/>
- [6] ANVRC. ¿Quiénes somos?. A:
ANVRC. *Asociación Nacional de Vela Radio Control* [en línia]. 2009
[Consulta: 4 de Maig de 2019].
Disponible a: <http://apuntesdebitacora.com/curiosidades/historia-del-modelismo-a-vela-de-competicion-i/>

- [7] IOMCAT. Presentació. A:
IOMCAT. *Associació IOMCAT de Vela rc* [en línia]. Gener 2006.
[Consulta: 4 de Maig de 2019].
Disponible a: <http://iom.cat/web/home/presentacio>
- [8] IRSA. IRSA A Class. A:
IRSA. *IRSA World Radio Sailing*. [en línia]. 2019
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://www.radiosailing.org/classes/a-class>
- [9] IRSA. IRSA Marblehead Class. A:
IRSA. *IRSA World Radio Sailing*. [en línia]. 2019
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://www.radiosailing.org/classes/marblehead>
- [10] IRSA. IRSA Ten Rater Class. A:
IRSA. *IRSA World Radio Sailing*. [en línia]. 2019
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://www.radiosailing.org/classes/tenrater>
- [11] IRSA. International One Meter Class. A:
IRSA. *IRSA World Radio Sailing*. [en línia]. 2019
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <https://www.radiosailing.org/classes/one-metre>
- [12] IOM ICA. Overview. A:
IOM ICA. *IOM International Class Association*. [en línia]. 2017
[Consulta: Múltiples dates]
Disponible a: <http://www.iomclass.org/about/>
- [13] IOM ICA. Class Rules 2017. A:
IOM ICA. *IOM International Class Association*. [en línia]. 2019
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <http://www.iomclass.org/class-rules-2017/>

-
- [14] NAUTICA DIGITAL. "America's Cup" O lo que dan de sí 100 Guineas. La victoria USA (1851) provocó dimisiones en GBR. A:
NAUTICA DIGITAL. *Náutica Digital* [en línea]. 2012
[Consulta: 5 de Maig de 2019]
Disponible a: <http://www.nauticadigital.com/historia/la-copa-del-america-o-lo-que-dan-de-si-100-guineas-la-victoria-usa-provoco-dimisiones-en-el-gobierno-gbr/>
- [15] IOMICA. *International One Meter Class Rules 2017*.
IOMICA, 2017
- [16] ALÁEZ ZAZURCA, J.A. *Resistencia Viscosa de Buques*.
Madrid: Editorial DIANA, Artes Gráficas, 1972.
- [17] VERDES JOVE, C.D. *Manual de Teoría del Buque*. 1a edició
La Corunya: Editorial CARTAMAR. 2013. ISBN 978-84-941746-0-5
- [18] FERNÁNDEZ DE PALENCIA, J. Estabilidad Inicial. A:
FERNÁNDEZ DE PALENCIA, J. *Diseño de veleros para el mal tiempo*. [en línea] Juny 2015.
[Consulta: 3 de Març de 2019]
Disponible a: <http://www.diseñovelerosmal tiempo.com>
- [19] PÉREZ ALONSO, C. Naval Composites: los materiales compuestos y la industria naval. A:
UPC. *UPC COMMONS*. [en línea] Maig 2016.
[Consulta: Múltiples dates]
Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88326>
- [20] GAZECHIM COMPOSITES IBERICA. Composite: Resina polièster y fibra de vidrio
GAZECHIM COMPOSITES IBERICA. *Grupo Gazechim Composites*. [en línea] Octubre 2013
[Consulta: 14 d'Abril de 2019]
Disponible a: <http://www.gazechim.es/blog/132-propiedades-resina-poliester-y-fibra-de-vidrio.html>
www.gazechim.es
- [21] MCPP. Carbon-P. A:
MCPP. *MCPP-Mitsubishi Chemicals*. [en línea] 2019
[Consulta: Múltiples dates]
Disponible a: <https://www.mcpp-3dp.com/products/carbon-p/>

- [22] AIRFOIL TOOLS. NACA 0015. A:
AIRFOIL TOOLS. *Air Foil Tools*. [en línia] 2019
[Consulta: 18 de Novembre de 2018]
Disponible a: <http://www.airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0015-il>
- [23] AMIDATA. Filamento para impresora 3D RS PRO negro 1.75 mm, 500 g, CARBON-P. A:
AMIDATA. *RS Components Online*. [en línia] 2019
[Consulta: 3 de Juliol de 2019]
Disponible a: <https://es.rs-online.com/web/p/materiales-de-impresion-3d/9107034/>
- [24] BOLOBERRY. Boloberry Prusa P3. A:
BOLOBERRY. *Boloberry Impresoras 3D*. [en línia] 2019
[Consulta: 3 de Juny de 2019]
Disponible a: <https://www.boloberry.com/producto/kit-prusa-p3-steel-pro/>

Annex 1. Estudis hidroestàtics, d'arrossegament, estabilitat i estructurals.

En aquest annex es recullen totes les dades d'hidrostàtica, de resistència a l'avanç d'estabilitat obtingudes per via de la realització dels pertinents estudis a partir de les extensions de *Maxsurf* pertinents a totes les propostes de disseny del folre i de la embarcació final, així com el resultat dels estudis estructurals realitzats per a les propostes de disseny de les quilles.

A1.1 Dades hidroestàtiques, d'arrossegament i estabilitat de *MS-IOM I*

Displacement	4,009	kg
Volume (displaced)	4016814	mm ³
Draft Amidships	57	mm
Immersed depth	57,6	mm
WL Length	995,1	mm
Beam max extents on WL	177,5	mm
Wetted Area	163903,3	mm ²
Max sect. area	7481,9	mm ²
Waterpl. Area	118115,4	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,54	
Block coeff. (Cb)	0,395	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,736	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,669	
LCB length	11,2	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCF length	-24,4	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCB %	1,121	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-2,452	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	36,6	mm
KG fluid	0	mm
BMt	51,7	mm
BML	1504	mm
GMt corrected	88,3	mm
GML	1540,6	mm
KMt	88,3	mm
KML	1540,6	mm
Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
MTc	0	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	6,2	kg.mm
Length:Beam ratio	5,607	
Beam:Draft ratio	3,082	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6,26	
Precision	Medium	69 stations

Taula 48: Dades hidroestàtiques de la proposta *MS-IOM I*

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (W)	Resist (N)	Power (W)
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,17	0,09	0,17	0,09	0,17	0,09
1,5	0,38	0,29	0,37	0,29	0,375	0,29
2	0,74	0,77	0,73	0,75	0,735	0,76
2,5	1,59	2,05	2,52	3,24	2,055	2,645
3	2,38	3,67	3,93	6,06	3,155	4,865
3,5	3,17	5,71	4,75	8,55	3,96	7,13
4	3,85	7,93	5,41	11,13	4,63	9,53
4,5	4,58	10,61	6,05	14,02	5,315	12,315
5	5,39	13,86	6,71	17,27	6,05	15,565
5,5	6,27	17,74	7,39	20,9	6,83	19,32
6	7,22	22,29	8,07	24,92	7,645	23,605
6,5	8,23	27,53	8,77	29,33	8,5	28,43
7	9,3	33,48	9,48	34,15	9,39	33,815
7,5	10,41	40,16	10,22	39,42	10,315	39,79
8	11,56	47,59	10,97	45,14	11,265	46,365
8,5	12,76	55,79	11,74	51,34	12,25	53,565
9	13,99	64,78	12,54	58,06	13,265	61,42
9,5	15,26	74,59	13,37	65,33	14,315	69,96
10	16,57	85,24	14,23	73,18	15,4	79,21
10,5	17,91	96,75	15,11	81,63	16,51	89,19
11	19,29	109,14	16,04	90,74	17,665	99,94
11,5	20,7	122,44	16,99	100,53	18,845	111,485
12	22,14	136,67	17,98	111	20,06	123,835
12,5	23,62	151,86	19,01	122,24	21,315	137,05
13	25,13	168,03	20,07	134,23	22,6	151,13
13,5	26,67	185,22	21,17	147,03	23,92	166,125
14	28,25	203,44	22,31	160,68	25,28	182,06
14,5	29,86	222,72	23,49	175,2	26,675	198,96
15	31,5	243,1	24,7	190,6	28,1	216,85

Taula 49: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta *MS-IOM I*

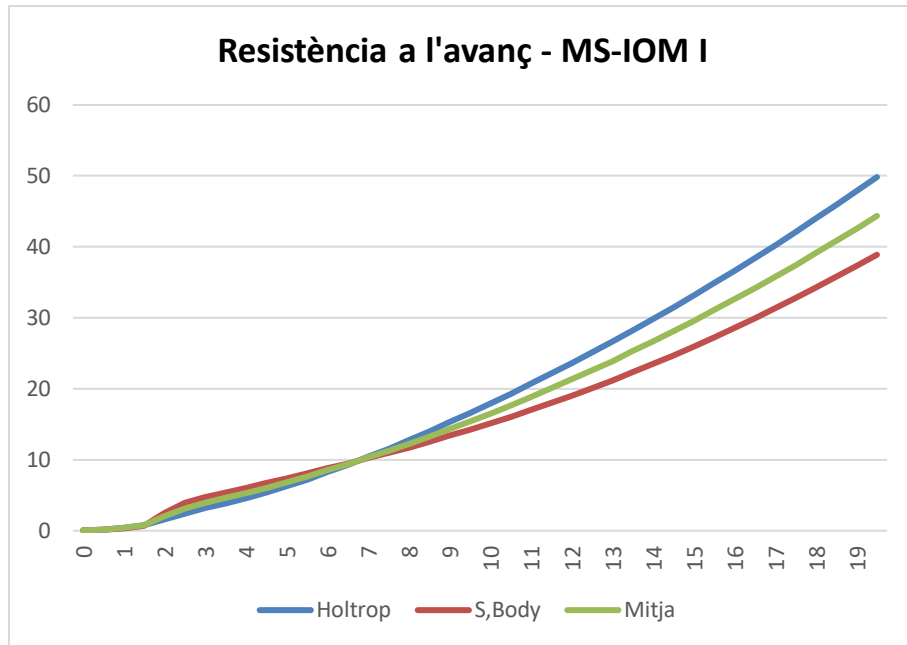


Figura 115: Corbes de resistència de la proposta MS-IOM I

Angle	GZ (mm)
0	0
5	7,7
10	15,4
15	23
20	30,4
25	37,5
30	44,3
35	50,8
40	57,1
45	63,2
50	69,4
55	74,9
60	79,6
65	83,5
70	86,5

Taula 50: Valors de GZ en funció de l'angle d'escora de la proposta MS-IOM I

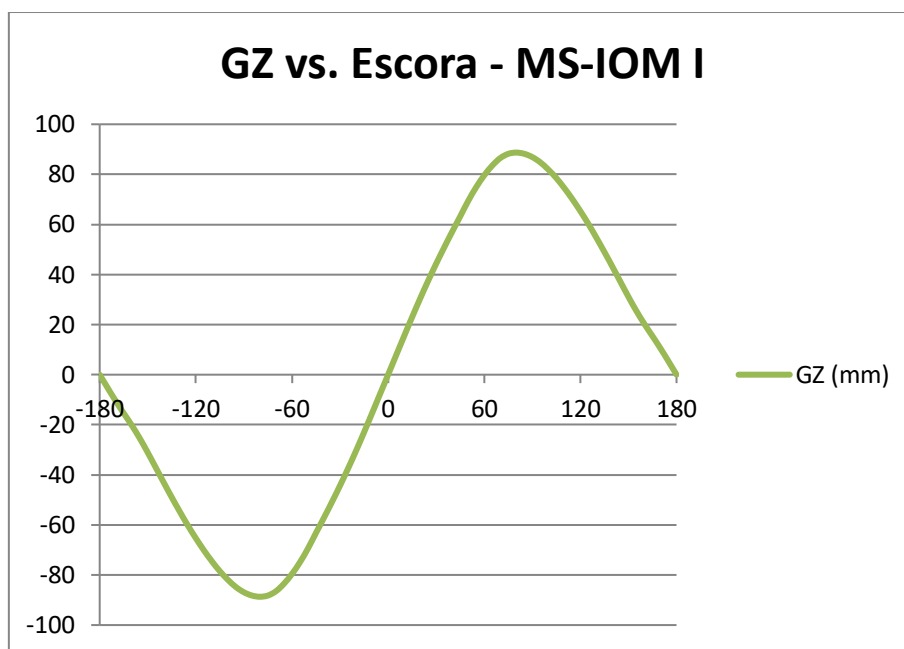


Figura 116: Corba de GZ en funció de la escora de la proposta *MS-IOM I*

A1.2 Dades hidroestàtiques, d'arrossegament i estabilitat de *MS-IOM II*

Displacement	4,000	kg
Volume (displaced)	4008050,800	mm ³
Draft Amidships	57,000	mm
Immersed depth	55,800	mm
WL Length	944,100	mm
Beam max extents on WL	198,900	mm
Wetted Area	156816,900	mm ²
Max sect. area	8282,600	mm ²
Waterpl. Area	127352,100	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,513	
Block coeff. (Cb)	0,383	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,748	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,678	
LCB length	-0,500	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCF length	-22,000	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCB %	-0,057	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-2,330	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	37,900	mm
KG fluid	0,000	mm
BMt	72,000	mm
BML	1463,400	mm
GMt corrected	109,900	mm
GML	1501,300	mm
KMt	109,900	mm
KML	1501,300	mm
Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
MTc	0,000	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	7,700	kg.mm
Length:Beam ratio	4,748	
Beam:Draft ratio	3,566	
Length:Vol ^{0.333} ratio	5,944	
Precision	Medium	69 stations

Taula 51: Dades hidroestàtiques de la proposta *MS-IOM II*

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (N)	Resist (N)	Power (W)
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,17	0,09	0,17	0,09	0,17	0,09
1,5	0,37	0,29	0,4	0,31	0,385	0,3
2	0,77	0,8	1,06	1,09	0,915	0,945
2,5	1,68	2,16	3,57	4,59	2,625	3,375
3	2,32	3,58	5,06	7,81	3,69	5,695
3,5	2,98	5,36	5,88	10,58	4,43	7,97
4	3,63	7,47	6,54	13,45	5,085	10,46
4,5	4,35	10,07	7,18	16,63	5,765	13,35
5	5,14	13,23	7,83	20,13	6,485	16,68
5,5	6	16,99	8,48	23,99	7,24	20,49
6	6,93	21,38	9,13	28,19	8,03	24,785
6,5	7,9	26,43	9,79	32,75	8,845	29,59
7	8,93	32,15	10,46	37,69	9,695	34,92
7,5	9,99	38,56	11,15	43,01	10,57	40,785
8	11,1	45,68	11,85	48,77	11,475	47,225
8,5	12,24	53,54	12,57	54,98	12,405	54,26
9	13,42	62,16	13,32	61,67	13,37	61,915
9,5	14,64	71,55	14,1	68,9	14,37	70,225
10	15,89	81,74	14,9	76,65	15,395	79,195
10,5	17,17	92,76	15,74	85	16,455	88,88
11	18,49	104,62	16,61	94	17,55	99,31
11,5	19,84	117,36	17,51	103,6	18,675	110,48
12	21,22	130,99	18,45	113,9	19,835	122,445
12,5	22,63	145,55	19,43	124,92	21,03	135,235
13	24,08	161,06	20,44	136,66	22,26	148,86
13,5	25,56	177,53	21,49	149,23	23,525	163,38
14	27,08	195,01	22,58	162,61	24,83	178,81
14,5	28,62	213,52	23,7	176,81	26,16	195,165
15	30,2	233,08	24,86	191,84	27,53	212,46

Taula 52: Dades de l'estudi d'arrossegament de la proposta MS-IOM II

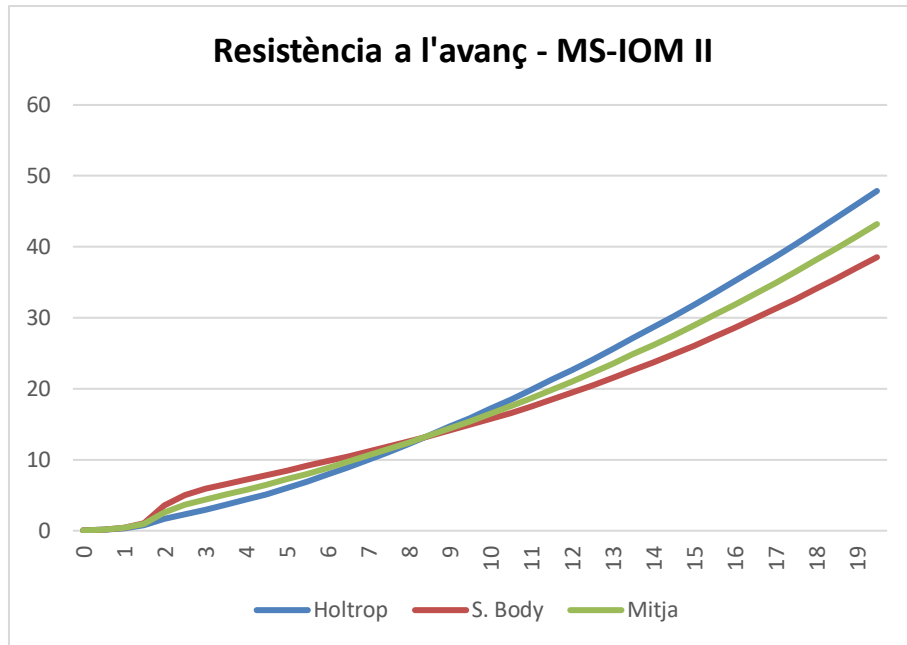


Figura 117: Corbes de resistència de la proposta MS-IOM II

Angle	GZ (mm)
0	0
5	9,6
10	19,2
15	28,5
20	37,4
25	45,8
30	53,5
35	60,8
40	67,6
45	74,1
50	80,1
55	85
60	88,7
65	91,3
70	92,7

Taula 53: Valors de GZ en funció de l'angle d'escora de la proposta MS-IOM II

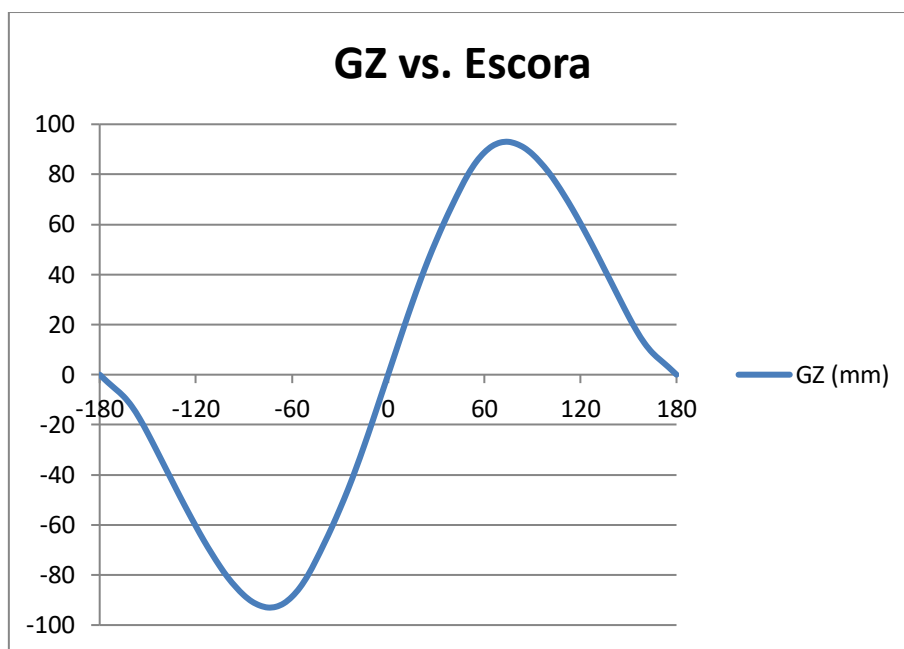


Figura 118: Corba de GZ en funció de la escora de la proposta *MS-IOM II*

A1.3 Dades hidroestàtiques, d'arrossegament i estabilitat de *MS-IOM III*

Displacement	4	kg
Volume (displaced)	4008156,9	mm ³
Draft Amidships	57	mm
Immersed depth	56,3	mm
WL Length	989	mm
Beam max extents on WL	190,4	mm
Wetted Area	156818,1	mm ²
Max sect. area	7983,4	mm ²
Waterpl. Area	124279,9	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,508	
Block coeff. (Cb)	0,378	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,745	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,66	
LCB length	-14,4	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCF length	-33,9	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCB %	-1,452	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-3,43	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	37,6	mm
KG fluid	0	mm
BMt	62,7	mm
BML	1528,3	mm
GMt corrected	100,3	mm
GML	1565,9	mm
KMt	100,3	mm
KML	1565,9	mm
Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
MTc	0	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	7	kg.mm
Length:Beam ratio	5,193	
Beam:Draft ratio	3,383	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6,226	
Precision	Medium	69 stations

Taula 54: Dades hidroestàtiques de la proposta *MS-IOM III*

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (N)	Resist. (N)	Power (W)
0	--	--	--	--		
0,5	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,16	0,08	0,16	0,08	0,16	0,08
1,5	0,36	0,28	0,36	0,27	0,36	0,275
2	0,73	0,76	0,87	0,89	0,8	0,825
2,5	1,61	2,07	3,08	3,96	2,345	3,015
3	2,26	3,49	4,53	6,99	3,395	5,24
3,5	2,94	5,3	5,33	9,6	4,135	7,45
4	3,58	7,37	5,98	12,31	4,78	9,84
4,5	4,28	9,91	6,61	15,31	5,445	12,61
5	5,05	12,99	7,25	18,66	6,15	15,825
5,5	5,89	16,67	7,9	22,36	6,895	19,515
6	6,79	20,96	8,56	26,41	7,675	23,685
6,5	7,75	25,91	9,22	30,83	8,485	28,37
7	8,75	31,52	9,89	35,63	9,32	33,575
7,5	9,8	37,81	10,59	40,84	10,195	39,325
8	10,89	44,82	11,29	46,48	11,09	45,65
8,5	12,02	52,55	12,02	52,57	12,02	52,56
9	13,18	61,03	12,77	59,14	12,975	60,085
9,5	14,38	70,28	13,56	66,25	13,97	68,265
10	15,61	80,33	14,36	73,89	14,985	77,11
10,5	16,88	91,19	15,2	82,11	16,04	86,65
11	18,18	102,89	16,08	90,97	17,13	96,93
11,5	19,52	115,46	16,98	100,47	18,25	107,965
12	20,88	128,92	17,92	110,62	19,4	119,77
12,5	22,28	143,29	18,89	121,5	20,585	132,395
13	23,71	158,6	19,9	133,1	21,805	145,85
13,5	25,18	174,88	20,95	145,49	23,065	160,185
14	26,68	192,14	22,03	158,7	24,355	175,42
14,5	28,21	210,43	23,16	172,74	25,685	191,585
15	29,77	229,76	24,31	187,61	27,04	208,685

Taula 55: Dades de l'estudi d'arrosegament de la proposta *MS-IOM III*

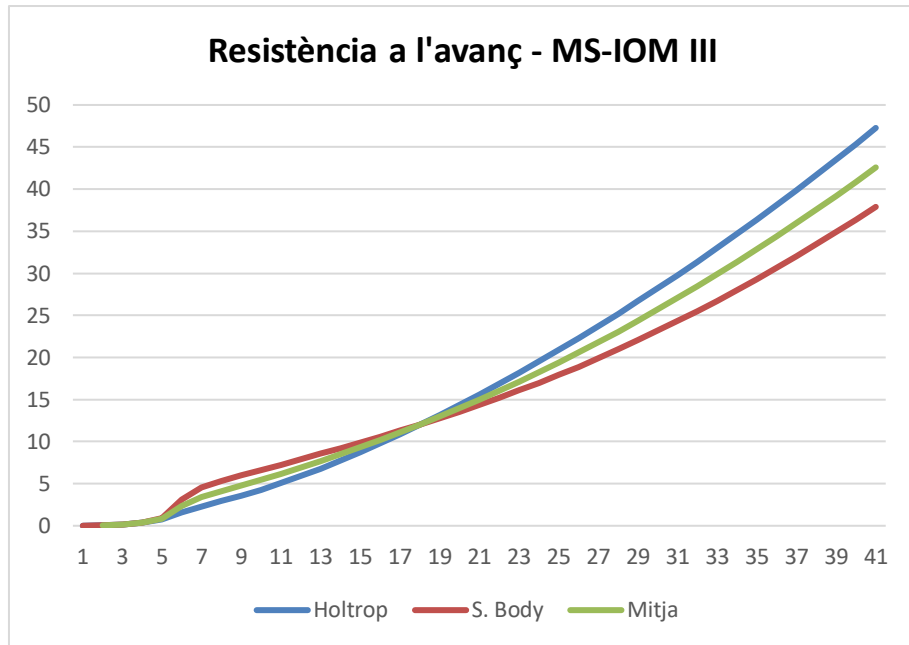


Figura 119: Corbes de resistència de la proposta MS-IOM III

Angle	GZ (mm)
0	0
5	8,8
10	17,5
15	26,1
20	34,4
25	42,2
30	49,6
35	56,6
40	63,2
45	69,6
50	75,6
55	80,6
60	84,6
65	87,6
70	89,5

Taula 56: Valors de GZ en funció de l'angle d'escora de la proposta MS-IOM III

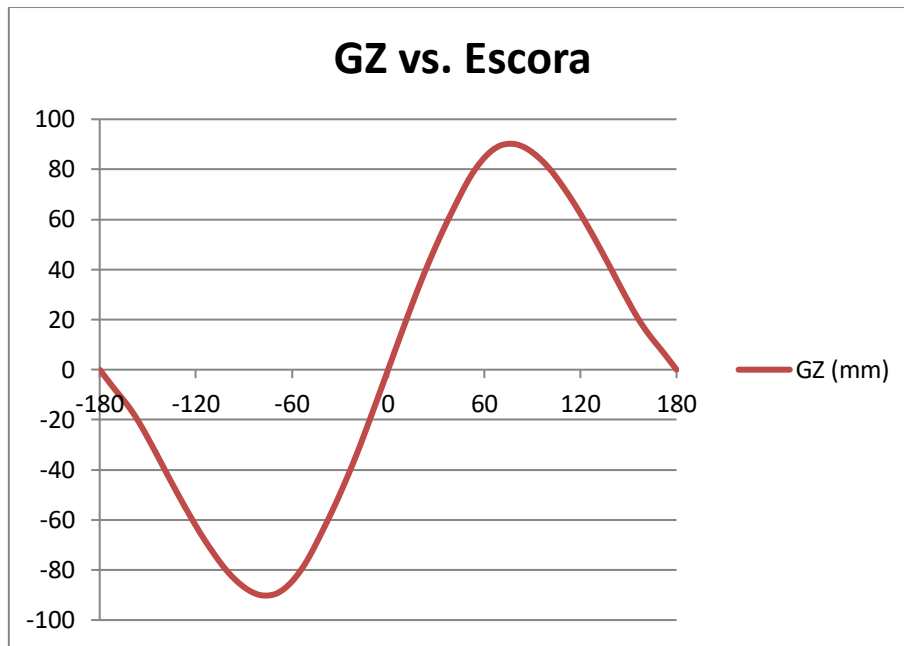


Figura 120: Corba de GZ en funció de la escora de la proposta *MS-IOM III*

A1.4 Dades hidroestàtiques, d'arrossegament i estabilitat de *MS-IOM IV*

Displacement	4	kg
Volume (displaced)	4008501,5	mm ³
Draft Amidships	57	mm
Immersed depth	56,3	mm
WL Length	989	mm
Beam max extents on WL	192,8	mm
Wetted Area	156170,1	mm ²
Max sect. area	8007,5	mm ²
Waterpl. Area	124431,3	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,506	
Block coeff. (Cb)	0,373	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,742	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,653	
LCB length	-18,2	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCF length	-40,4	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCB %	-1,844	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-4,088	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	37,3	mm
KG fluid	0	mm
BMt	64,4	mm
BML	1501,7	mm
GMt corrected	101,7	mm
GML	1539	mm
KMt	101,7	mm
KML	1539	mm
Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
MTc	0	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	7,1	kg.mm
Length:Beam ratio	5,13	
Beam:Draft ratio	3,425	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6,226	
Precision	Medium	69 stations

Taula 57: Dades hidroestpatiques de la proposta *MS-IOM IV*

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (N)	Resist. (N)	Power (W)
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,16	0,08	0,16	0,08	0,16	0,08
1,5	0,36	0,28	0,35	0,27	0,355	0,275
2	0,73	0,75	0,88	0,91	0,805	0,83
2,5	1,6	2,05	3,12	4,01	2,36	3,03
3	2,25	3,48	4,57	7,05	3,41	5,265
3,5	2,93	5,28	5,37	9,67	4,15	7,475
4	3,57	7,34	6,02	12,38	4,795	9,86
4,5	4,26	9,87	6,64	15,38	5,45	12,625
5	5,03	12,93	7,28	18,72	6,155	15,825
5,5	5,86	16,59	7,92	22,41	6,89	19,5
6	6,76	20,87	8,57	26,46	7,665	23,665
6,5	7,71	25,78	9,23	30,87	8,47	28,325
7	8,71	31,37	9,9	35,66	9,305	33,515
7,5	9,75	37,63	10,59	40,85	10,17	39,24
8	10,84	44,6	11,29	46,47	11,065	45,535
8,5	11,96	52,3	12,02	52,55	11,99	52,425
9	13,12	60,74	12,77	59,11	12,945	59,925
9,5	14,31	69,94	13,55	66,2	13,93	68,07
10	15,54	79,94	14,35	73,83	14,945	76,885
10,5	16,8	90,76	15,19	82,03	15,995	86,395
11	18,1	102,41	16,06	90,88	17,08	96,645
11,5	19,42	114,92	16,96	100,35	18,19	107,635
12	20,79	128,32	17,9	110,49	19,345	119,405
12,5	22,18	142,63	18,87	121,35	20,525	131,99
13	23,61	157,88	19,88	132,94	21,745	145,41
13,5	25,07	174,09	20,92	145,3	22,995	159,695
14	26,56	191,29	22,01	158,49	24,285	174,89
14,5	28,09	209,5	23,13	172,5	25,61	191
15	29,64	228,75	24,28	187,35	26,96	208,05

Taula 58: Dades de l'estudi d'arrossegament de la porposta *MS-IOM IV*

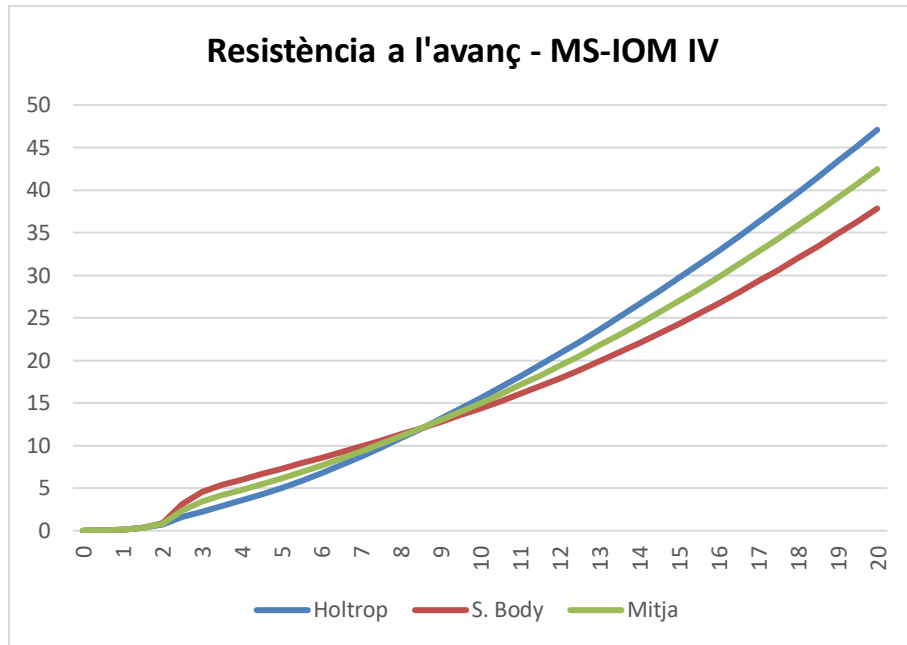


Figura 121: Corbes de resistència de la proposta MS-IOM IV

Angle	GZ (mm)
0	0
5	8,9
10	17,7
15	26,3
20	34,7
25	42,6
30	50,2
35	57,3
40	64,1
45	70,6
50	76,5
55	81,3
60	85,2
65	87,9
70	89,6

Taula 59: Valors de GZ en funció de l'angle d'escora de la proposta MS-IOM IV

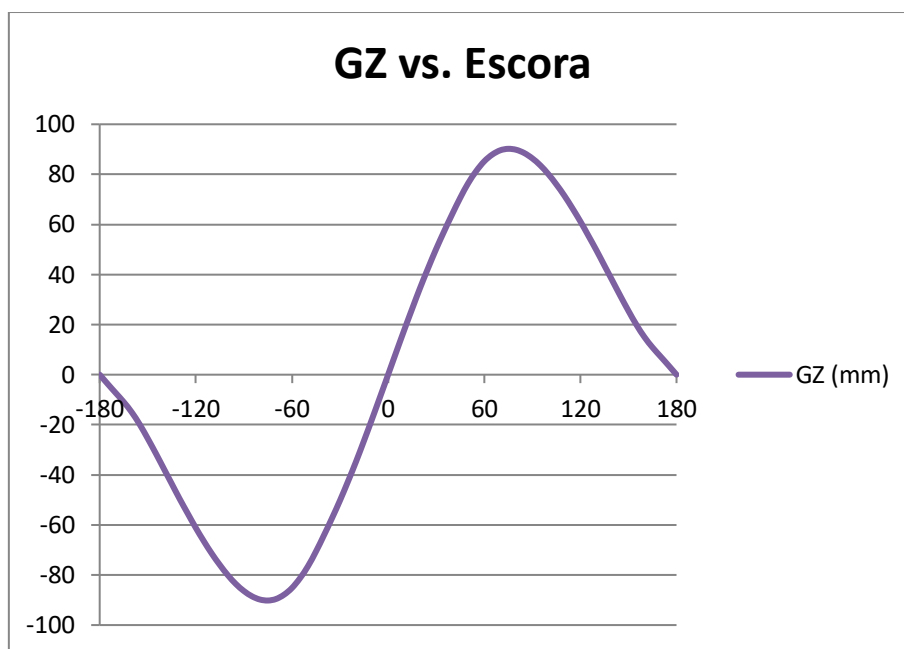


Figura 122: Corba de GZ en funció de la escora de la proposta *MS-IOM IV*

A1.5 Dades hidroestàtiques, d'arrossegament i estabilitat de *MS-IOM V*

Displacement	4	kg
Volume (displaced)	4007826,7	mm ³
Draft Amidships	57	mm
Immersed depth	56,4	mm
WL Length	989	mm
Beam max extents on WL	189,3	mm
Wetted Area	155526,6	mm ²
Max sect. area	7966,4	mm ²
Waterpl. Area	122869,7	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,509	
Block coeff. (Cb)	0,38	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,748	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,656	
LCB length	-15,3	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCF length	-38,2	from zero pt. (+ve fwd) mm
LCB %	-1,549	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-3,866	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	37,1	mm
KG fluid	0	mm
BMt	61,5	mm
BML	1491,4	mm
GMt corrected	98,7	mm
GML	1528,5	mm
KMt	98,7	mm
KML	1528,5	mm
Immersion (TPc)	0,001	tonne/cm
MTc	0	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	6,9	kg.mm
Length:Beam ratio	5,226	
Beam:Draft ratio	3,355	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6,226	
Precision	Medium	69 stations

Taula 60: Dades hidroestàtiques de la proposta *MS-IOM V*

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (N)	Resist. (N)	Power (W)
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,16	0,08	0,16	0,08	0,16	0,08
1,5	0,36	0,28	0,35	0,27	0,355	0,275
2	0,73	0,75	0,86	0,89	0,795	0,82
2,5	1,59	2,04	3,07	3,94	2,33	2,99
3	2,25	3,48	4,51	6,96	3,38	5,22
3,5	2,94	5,29	5,3	9,55	4,12	7,42
4	3,58	7,36	5,94	12,23	4,76	9,795
4,5	4,27	9,89	6,56	15,19	5,415	12,54
5	5,04	12,96	7,19	18,49	6,115	15,725
5,5	5,88	16,63	7,82	22,14	6,85	19,385
6	6,77	20,91	8,47	26,14	7,62	23,525
6,5	7,73	25,84	9,12	30,5	8,425	28,17
7	8,73	31,43	9,79	35,24	9,26	33,335
7,5	9,77	37,71	10,47	40,38	10,12	39,045
8	10,86	44,69	11,16	45,95	11,01	45,32
8,5	11,98	52,4	11,88	51,96	11,93	52,18
9	13,14	60,85	12,63	58,46	12,885	59,655
9,5	14,34	70,07	13,4	65,49	13,87	67,78
10	15,57	80,07	14,2	73,04	14,885	76,555
10,5	16,83	90,89	15,03	81,17	15,93	86,03
11	18,12	102,55	15,89	89,94	17,005	96,245
11,5	19,45	115,06	16,79	99,33	18,12	107,195
12	20,81	128,45	17,72	109,38	19,265	118,915
12,5	22,2	142,76	18,68	120,15	20,44	131,455
13	23,62	157,99	19,68	131,64	21,65	144,815
13,5	25,08	174,18	20,72	143,91	22,9	159,045
14	26,57	191,36	21,8	156,99	24,185	174,175
14,5	28,09	209,55	22,91	170,89	25,5	190,22
15	29,65	228,77	24,05	185,62	26,85	207,195

Taula 61: Dades de de l'estudi d'arrossegament de la proposta MS-IOM V

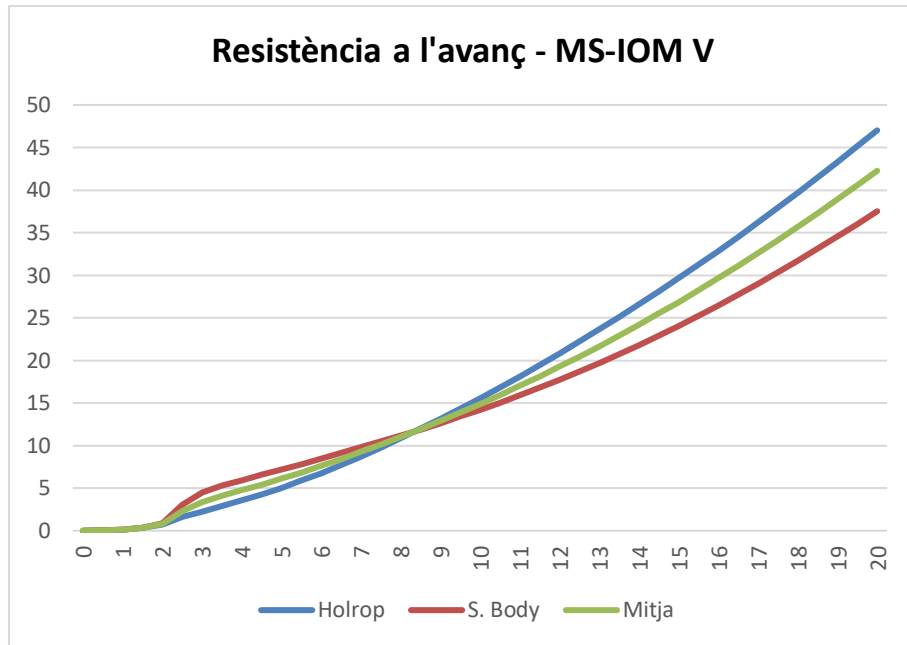


Figura 123: Corbes de resistència de la proposta MS-IOM V

Angle	GZ (mm)
0	0
5	8,6
10	17,2
15	25,6
20	33,8
25	41,6
30	49
35	56,1
40	62,9
45	69,4
50	75,3
55	80,2
60	84
65	86,9
70	88,6

Taula 62: Valors de GZ en funció de l'angle d'escora de la proposta MS-IOM V

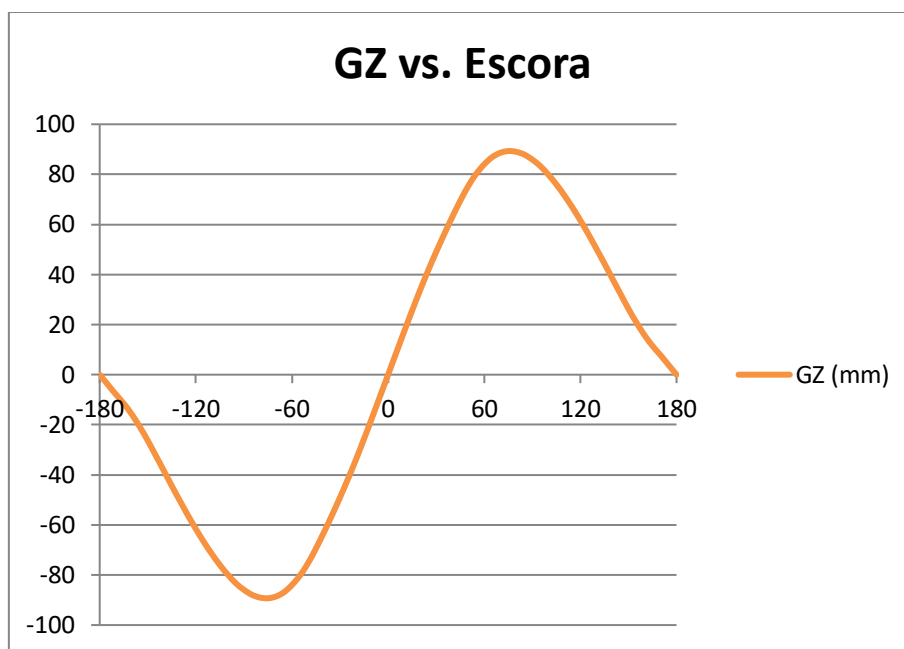


Figura 124: Corba de GZ en funció de la escora de la proposta *MS-IOM V*

A1.6 Estudi tècnic del disseny final

A1.6.1 Dades de l'estudi d'arrossegament

Speed (Kn)	Holtrop		Slender Body		Mitja	
	Resist. (N)	Power (W)	Resist. (N)	Power (N)	Resist. (N)	Power (W)
0	--	--	--	--	--	--
0,5	0,13	0,03	0,12	0,03	0,125	0,03
1	0,48	0,25	0,5	0,26	0,49	0,255
1,5	1,2	0,93	1,45	1,12	1,325	1,025
2	2,28	2,35	3,2	3,29	2,74	2,82
2,5	3,41	4,38	7,95	10,23	5,68	7,305
3	3,55	5,48	10,38	16,03	6,965	10,755
3,5	4,07	7,33	11,45	20,61	7,76	13,97
4	5,19	10,68	12,26	25,23	8,725	17,955
4,5	6,43	14,89	13,15	30,45	9,79	22,67
5	7,79	20,05	14,19	36,5	10,99	28,275
5,5	9,28	26,25	15,37	43,47	12,325	34,86
6	10,88	33,57	16,67	51,46	13,775	42,515
6,5	12,59	42,1	18,1	60,51	15,345	51,305
7	14,42	51,93	19,63	70,69	17,025	61,31
7,5	16,37	63,14	21,28	82,09	18,825	72,615
8	18,42	75,82	23,02	94,76	20,72	85,29
8,5	20,59	90,04	24,88	108,78	22,735	99,41
9	22,87	105,89	26,83	124,23	24,85	115,06
9,5	25,26	123,45	28,89	141,2	27,075	132,325
10	27,76	142,81	31,05	159,73	29,405	151,27
10,5	30,37	164,03	33,31	179,91	31,84	171,97
11	33,08	187,21	35,67	201,85	34,375	194,53
11,5	35,91	212,42	38,13	225,58	37,02	219
12	38,84	239,74	40,69	251,18	39,765	245,46
12,5	41,87	269,25	43,35	278,75	42,61	274
13	45,01	301,03	46,1	308,34	45,555	304,685
13,5	48,26	335,16	48,96	340,04	48,61	337,6
14	51,61	371,7	51,92	373,94	51,765	372,82
14,5	55,06	410,75	54,97	410,08	55,015	410,415
15	58,62	452,37	58,12	448,51	58,37	450,44

Taula 63: Dades de de l'estudi d'arrossegament del disseny final

Speed (Kn)	Holtrop		S.Body		Mitja	
	MS-IOM V	MS-IOM	MS-IOM V	MS-IOM	MS-IOM V	MS-IOM
0	--	--	--	--	--	--
0,5	0,05	0,13	0,05	0,12	0,05	0,125
1	0,16	0,48	0,16	0,5	0,16	0,49
1,5	0,36	1,2	0,35	1,45	0,355	1,325
2	0,73	2,28	0,86	3,2	0,795	2,74
2,5	1,59	3,41	3,07	7,95	2,33	5,68
3	2,25	3,55	4,51	10,38	3,38	6,965
3,5	2,94	4,07	5,3	11,45	4,12	7,76
4	3,58	5,19	5,94	12,26	4,76	8,725
4,5	4,27	6,43	6,56	13,15	5,415	9,79
5	5,04	7,79	7,19	14,19	6,115	10,99
5,5	5,88	9,28	7,82	15,37	6,85	12,325
6	6,77	10,88	8,47	16,67	7,62	13,775
6,5	7,73	12,59	9,12	18,1	8,425	15,345
7	8,73	14,42	9,79	19,63	9,26	17,025
7,5	9,77	16,37	10,47	21,28	10,12	18,825
8	10,86	18,42	11,16	23,02	11,01	20,72
8,5	11,98	20,59	11,88	24,88	11,93	22,735
9	13,14	22,87	12,63	26,83	12,885	24,85
9,5	14,34	25,26	13,4	28,89	13,87	27,075
10	15,57	27,76	14,2	31,05	14,885	29,405
10,5	16,83	30,37	15,03	33,31	15,93	31,84
11	18,12	33,08	15,89	35,67	17,005	34,375
11,5	19,45	35,91	16,79	38,13	18,12	37,02
12	20,81	38,84	17,72	40,69	19,265	39,765
12,5	22,2	41,87	18,68	43,35	20,44	42,61
13	23,62	45,01	19,68	46,1	21,65	45,555
13,5	25,08	48,26	20,72	48,96	22,9	48,61
14	26,57	51,61	21,8	51,92	24,185	51,765
14,5	28,09	55,06	22,91	54,97	25,5	55,015
15	29,65	58,62	24,05	58,12	26,85	58,37

Taula 64: Valors de resistència a l'avanç del model *MS-IOM V* (sense apèndixs) i el disseny definitiu

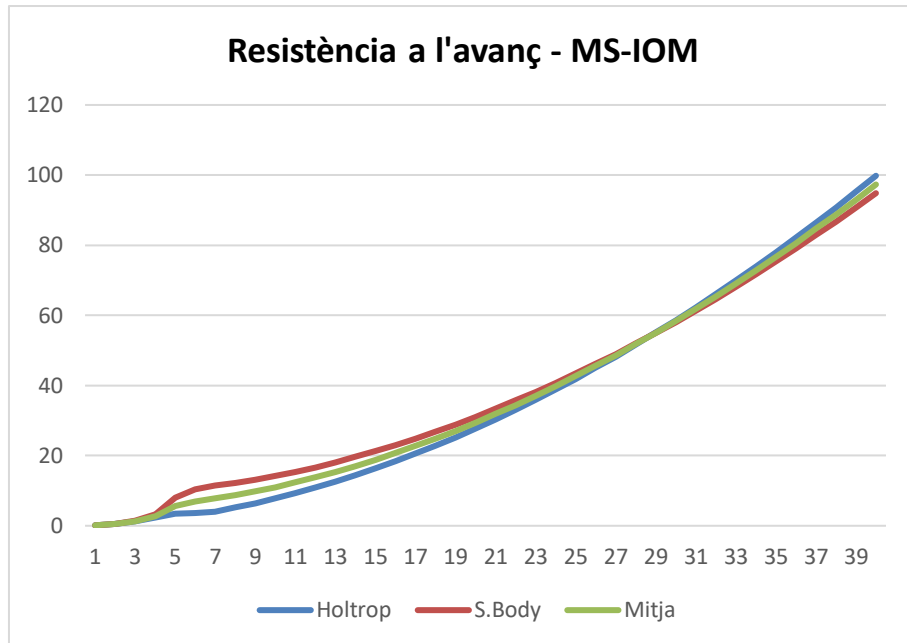


Figura 125: Corbes de resistència del disseny definitiu

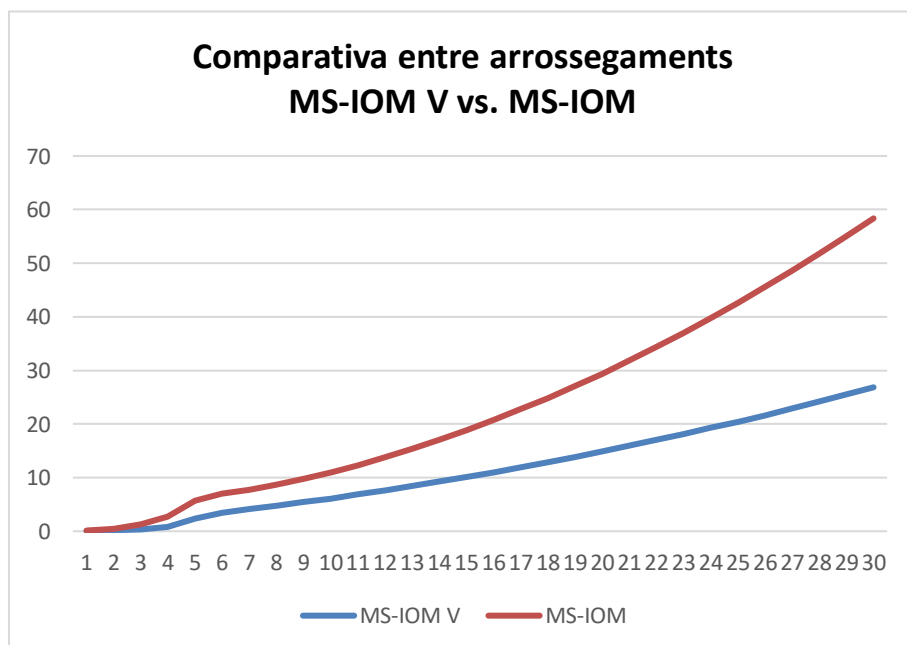


Figura 126: Gràfica comparativa entre els arrossegaments del model *MS-IOM V* (sense apèndixs) amb el model definitiu

A1.6.2. Càlcul de la posició del centre de gravetat

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
Folre	844,61	8,28	499,70	-0,20	-1,66	4,8	4,8	39,73
Coberta de proa	82,17	0,81	294,20	205,30	165,32	98,6	98,6	79,40
Coberta de popa	116,45	1,14	693,10	-193,60	-220,94	7,3	7,3	8,33
Coberta de servos	78,94	0,77	578,60	-79,10	-61,19	-12,2	-12,2	-9,44
Mampara 1	23,32	0,23	199,80	299,70	68,49	38,2	38,2	8,73
Mampara 2	79,71	0,78	425,30	74,20	57,96	31,6	31,6	24,68
Mampara 3	19,18	0,19	712,10	-212,60	-39,96	-14,4	-14,4	-2,71
Mampara 4	5,25	0,05	88,48	411,02	21,15	-5,7	-5,7	-0,29
SUBTOTAL	1249,63	12,25			-10,83			148,44
LCG	-0,88							
VCG	12,12							

Taula 65: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements del buc

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
Orsa	258,42	2,53	519,60	-20,10	-50,90	-142,3	-142,3	-360,38
Bulb	2157,32	21,14	515,50	-16,00	-338,27	-396,4	-396,4	-8380,58
Caixa d'orsa	70,55	0,69	477,9	21,60	14,93	-11,4	-11,4	-7,88
Passant	11,83	0,12	529,4	-29,90	-3,47	48,4	48,4	5,61
Tancament	22,2	0,22	463,1	36,40	7,92	47,7	47,7	10,38
SUBTOTAL	2520,32	24,70			-369,78			-8732,85
LCG	-14,97							
VCG	-353,57							

Taula 66: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements de la quilla

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
Timó	19,08	0,19	954,6	-455,10	-85,10	-46	-46	-8,60
Llimera	10,91	0,11	931,8	-432,30	-46,22	-0,7	-0,7	-0,07
Accionament	2,11	0,02	943,3	-443,80	-9,18	36,4	36,4	0,75
Topall	1,41	0,01	942,9	-443,40	-6,13	38,8	38,8	0,54
SUBTOTAL	33,51	0,33			-146,62			-7,39
LCG	-446,47							
VCG	-22,49							

Taula 67: Càlcul de la posició del centre de gravetat per als elements del timó

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
Servomotor Veles	42	0,41	614,2	-114,70	-47,21	-20,4	-20,4	-8,40
Servomotor Timó	10	0,10	673,8	-174,30	-17,08	-14,2	-14,2	-1,39
Bateria	48	0,47	443,2	56,30	26,48	-3	-3	-1,41
Receptor	8	0,08	570,8	-71,30	-5,59	-8,6	-8,6	-0,67
Pal	56	0,55			0,00	200	200	109,76
SUBTOTAL	164,00	1,61			-43,40			97,89
LCG	-27,00							
VCG	60,90							

Taula 68: Càlcul de la posició del centre de gravetat per al conjunt de components electrònics

Buc	1249,63	12,246374	n/d	-0,88	-10,83	n/d	12,12	148,44
Quilla	2520,32	24,699136	n/d	-14,97	-369,78	n/d	-353,57	-8732,85
Timó	33,51	0,328398	n/d	-446,47	-146,62	n/d	-22,49	-7,39
Electrònica	164,00	1,6072	n/d	-27,00	-43,40	n/d	60,90	97,89
TOTAL	3967,46	38,88			-570,63			-8493,92
LCG	-14,68							
VCG	-218,46							

Taula 69: Càlcul de la posició del centre de gravetat global de la embarcació

A1.6.3 Càlcul de la posició del llast i centre de gravetat definitiu

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
OPCIÓ 1	33,00	0,3234	545	-45,50	-14,7147	-57	-57	-18,4338
MASSA FINAL	4000,46	39,204508			-585,34			-8512,35
LCG FINAL	-14,93							
VCG FINAL	-217,13							

Taula 70: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 1)

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
OPCIÓ 2	33,00	0,3234	986	-486,50	-157,3341	10	10	3,234
MASSA FINAL	4000,46	39,204508			-727,96			-8490,68
LCG FINAL	-18,57							
VCG FINAL	-216,57							

Taula 71: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 2)

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
OPCIÓ 3	120,00	1,176	545	-45,50	-53,508	-57	-57	-67,032
MASSA FINAL	4087,46	40,057108			-624,14			-8560,95
LCG FINAL	-15,58							
VCG FINAL	-213,72							

Taula 72: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 3)

	m (g)	p (N)	AB (mm)	LCG (mm)	M (N·mm)	CD (mm)	VCG (mm)	M (N·mm)
OPCIÓ 4	46,00	0,4508	986	-486,50	-219,3142	10	10	4,508
MASSA FINAL	4013,46	39,331908			-789,94			-8489,41
LCG FINAL	-20,08							
VCG FINAL	-215,84							

Taula 73: Càlcul de la massa i posició del centre de gravetat de la embarcació amb el llast aplicat (opció 4)

A1.6.4 Resultats de l'estudi de la posició d'equilibri

	OPCIÓ 2	OPCIÓ 4	
Draft Amidships	56	56,1	mm
Displacement	4.000	4,013	kg
Heel	0	0	º
Draft at FP	55,1	54,7	mm
Draft at AP	56,9	57,5	mm
Draft at LCF	56,1	56,2	mm
Trim (+ve by stern)	1,9	2,9	mm
WL Length	983,9	985,9	mm
Beam max extents on WL	188,8	188,8	mm
Wetted Area	152180,7	152568,4	mm ²
Waterpl. Area	122101,8	122418,6	mm ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,509	0,508	
Block coeff. (Cb)	0,378	0,378	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,746	0,746	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,657	0,658	
LCB from zero pt. (+ve fwd)	-17,5	-19,2	mm
LCF from zero pt. (+ve fwd)	-39,3	-40,7	mm
KB	36,6	36,7	mm
KG fluid	-217,3	-216,5	mm
BMt	62,6	62,5	mm
BML	1512,9	1518,6	mm
GMt corrected	316,5	315,6	mm
GML	1766,9	1771,8	mm
KMt	99,2	99,2	mm
KML	1549,5	1555,3	mm
Immersion (TPc)	0,001	0,001	ton/cm
MTc	0	0	ton·m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	22,1	22,1	kg·mm
Max deck inclination	0,1085	0,1668	º
Trim angle (+ve by stern)	0,1085	0,1668	º

Taula 74: Dades de l'estudi de la posició d'equilibri per a les dues opcions de llast

A1.6.5 Resultats de l'estudi d'estabilitat

Escora (deg.)	GZ (mm)	T @ Pr (mm)	T @ Pp (mm)	LWL (mm)	Bmax (mm)	CP	CB	LCB	Assentament (deg.)
-180	0	-137,1	-88,5	1000,6	201	0,646	0,647	-34,9	2,8165
-170	-45	-136,9	-88,5	1000,6	203,5	0,646	0,408	-34,3	2,803
-160	-87,9	-136,7	-88,7	1000,4	192,2	0,642	0,324	-32,9	2,7795
-150	-132,1	-137,5	-91,8	1000,2	165,8	0,618	0,316	-30,2	2,6465
-140	-175,6	-140,2	-99,2	999,9	153	0,592	0,311	-26,9	2,3726
-130	-215,2	-145,8	-111,8	999,7	145,6	0,568	0,313	-23,4	1,9673
-120	-249	-157	-132,6	999,4	140,4	0,547	0,324	-20,5	1,4157
-110	-275,7	-182,6	-171,9	970,5	136,9	0,545	0,356	-18,6	0,6217
-100	-294,2	-265	-283,3	938	135,7	0,548	0,404	-17,6	-1,0623
-90	-303,6	n/a	n/a	900,1	137,6	0,558	0,471	-17,5	n/a
-80	-303,3	-78,9	-142,1	883,9	143,1	0,558	0,48	-18	-3,662
-70	-292,9	3,5	-31	886,2	153,6	0,548	0,442	-18,6	-1,9991
-60	-272,1	29,3	8,1	902,2	165,4	0,534	0,399	-19,1	-1,226
-50	-241,5	41,6	29,1	940,2	182,3	0,514	0,347	-19,2	-0,7284
-40	-202,4	48,5	42,2	969,1	187,1	0,509	0,333	-18,8	-0,367
-30	-157,6	52,2	49,9	979,6	186,3	0,51	0,347	-18,4	-0,1358
-20	-108,1	54,1	54,2	984,7	188	0,509	0,368	-18	0,0071
-10	-54,9	54,9	56,3	980,9	188,8	0,51	0,388	-17,6	0,0843
0	0	55,1	56,9	983,9	188,8	0,509	0,378	-17,5	0,1083
10	54,9	54,9	56,3	980,9	188,8	0,51	0,388	-17,6	0,0845
20	108,1	54,1	54,2	984,7	188	0,509	0,368	-18	0,0075
30	157,6	52,2	49,9	979,6	186,3	0,51	0,347	-18,4	-0,1349
40	202,4	48,5	42,2	969,1	187,1	0,509	0,333	-18,9	-0,3658
50	241,5	41,6	29,1	940,2	182,3	0,514	0,347	-19,2	-0,728
60	272,1	29,3	8,1	902,2	165,4	0,534	0,399	-19,1	-1,2268
70	292,9	3,5	-31	886,2	153,6	0,548	0,442	-18,6	-2,0003
80	303,3	-78,9	-142,1	883,9	143,1	0,558	0,48	-18	-3,6606
90	303,6	n/a	n/a	900,1	137,6	0,558	0,471	-17,5	n/a
100	294,2	-264,9	-283,4	938,1	135,7	0,548	0,404	-17,6	-1,0693
110	275,7	-182,5	-171,9	970,6	136,9	0,545	0,356	-18,5	0,6135
120	249	-157	-132,6	999,3	140,3	0,547	0,324	-20,6	1,4191
130	215,2	-145,8	-111,8	999,7	145,6	0,568	0,313	-23,4	1,969
140	175,6	-140,2	-99,2	999,9	153	0,592	0,311	-26,9	2,3745
150	132,1	-137,6	-91,8	1000,2	165,8	0,618	0,316	-30,4	2,651
160	87,9	-136,7	-88,7	1000,4	192,2	0,642	0,324	-32,8	2,7767
170	45	-136,9	-88,5	1000,6	203,5	0,646	0,408	-34,3	2,8031
180	0	-137,1	-88,5	1000,6	201	0,646	0,647	-34,9	2,8149

Taula 75: Dades de l'estudi d'estabilitat de la embarcació amb la opció 2 de llast aplicada

Escora (deg.)	GZ (mm)	T @ Pr (mm)	T @ Pp (mm)	LWL (mm)	Bmax (mm)	CP	CB	LCB	Assentament (deg.)
-180	0	-137,5	-88	1000,6	201	0,646	0,647	-36,7	2,8668
-170	-44,9	-137,3	-88	1000,6	203,5	0,646	0,408	-36,1	2,8533
-160	-87,7	-137,1	-88,2	1000,5	192,4	0,642	0,324	-34,7	2,8302
-150	-131,7	-138	-91,1	1000,3	165,9	0,618	0,316	-32,1	2,7136
-140	-175,1	-140,8	-98,4	1000	153,1	0,592	0,311	-28,7	2,4525
-130	-214,6	-146,5	-110,7	999,7	145,7	0,568	0,313	-25,2	2,0706
-120	-248,3	-158	-131,1	997,7	140,4	0,548	0,325	-22,3	1,5562
-110	-275	-184,1	-169,7	969	136,9	0,546	0,358	-20,3	0,8334
-100	-293,4	-267,9	-279	936,6	135,7	0,55	0,405	-19,3	-0,6463
-90	-302,8	n/a	n/a	898,8	137,6	0,56	0,473	-19,1	n/a
-80	-302,6	-81,5	-138,2	886	143,1	0,557	0,48	-19,5	-3,2844
-70	-292,2	2,3	-29,1	888	153,6	0,548	0,441	-20,1	-1,8192
-60	-271,4	28,5	9,3	903,6	165,4	0,534	0,399	-20,5	-1,1127
-50	-241	41,1	29,9	941,2	182,3	0,514	0,347	-20,5	-0,6458
-40	-202	48,1	42,9	967,8	187,2	0,51	0,334	-20,2	-0,3004
-30	-157,3	51,8	50,5	978,5	186,5	0,511	0,348	-19,7	-0,0785
-20	-107,8	53,7	54,7	983,8	188,1	0,51	0,368	-19,3	0,0585
-10	-54,8	54,5	56,8	982,7	188,9	0,51	0,387	-19	0,1324
0	0	54,7	57,4	985,5	188,8	0,508	0,378	-18,8	0,1553
10	54,8	54,5	56,8	982,7	188,9	0,51	0,387	-19	0,1326
20	107,8	53,7	54,7	983,7	188,1	0,51	0,368	-19,3	0,059
30	157,3	51,8	50,5	978,5	186,5	0,511	0,348	-19,8	-0,0775
40	202	48,1	42,9	967,7	187,2	0,51	0,334	-20,2	-0,2992
50	241	41,1	29,9	941,2	182,3	0,514	0,347	-20,5	-0,6456
60	271,4	28,5	9,3	903,6	165,4	0,534	0,399	-20,5	-1,1133
70	292,2	2,3	-29,1	888	153,6	0,548	0,441	-20,1	-1,8201
80	302,6	-81,5	-138,2	886	143,1	0,557	0,48	-19,5	-3,2825
90	302,8	n/a	n/a	898,8	137,6	0,56	0,473	-19,1	n/a
100	293,4	-267,8	-279,1	936,6	135,7	0,55	0,405	-19,3	-0,6548
110	275	-184	-169,8	969,1	136,9	0,546	0,358	-20,2	0,8253
120	248,3	-158	-131,1	997,6	140,4	0,548	0,325	-22,3	1,5604
130	214,6	-146,5	-110,7	999,7	145,7	0,568	0,313	-25,2	2,0719
140	175,1	-140,8	-98,4	1000	153,1	0,592	0,311	-28,7	2,4547
150	131,7	-138	-91,1	1000,3	165,9	0,618	0,316	-32,1	2,7142
160	87,7	-137	-88,2	1000,5	192,4	0,642	0,324	-34,6	2,828
170	44,9	-137,3	-88	1000,6	203,5	0,646	0,408	-36,1	2,8536
180	0	-137,5	-88	1000,6	201	0,646	0,647	-36,6	2,8654

Taula 76: Dades de l'estudi d'estabilitat de la embarcació amb la opció 4 de llast aplicada

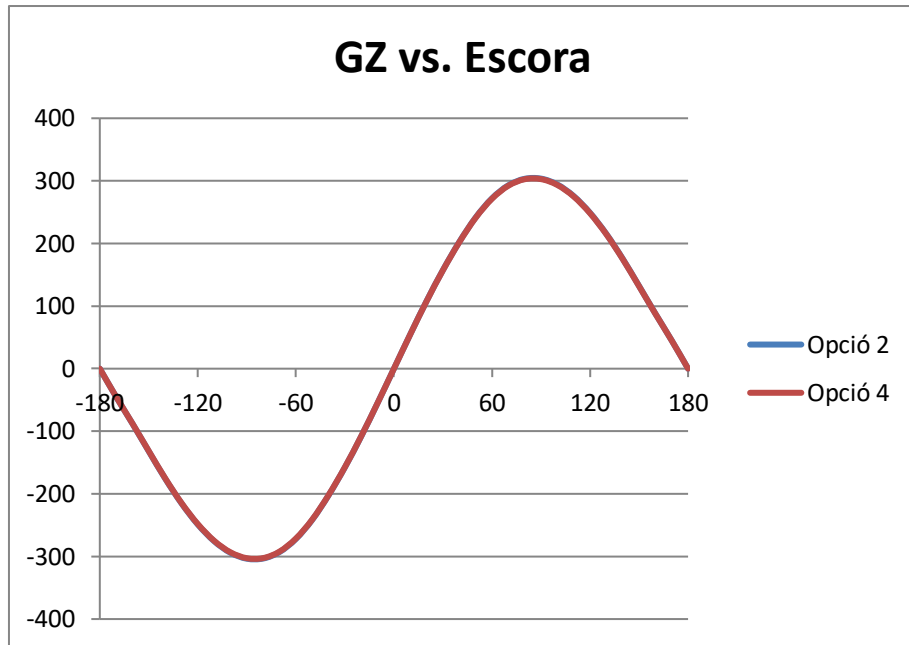


Figura 127: Corba de GZ en funció de la escora de la embarcació per a les dues opcions de llast (en blau, opció 2; en vermell, opció 4)

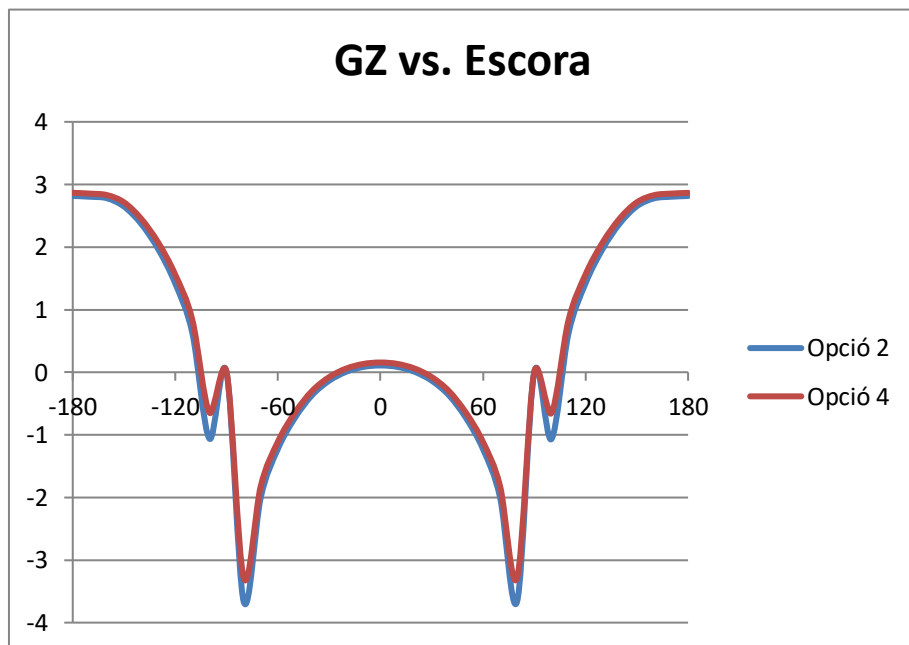


Figura 128: Corba de l'angle d'assentament en funció de la escora de la embarcació per a les dues opcions de llast (en blau, opció 2; en vermell, opció 4)

A1.7 Dades de l'estudi estructural de *Keel I*

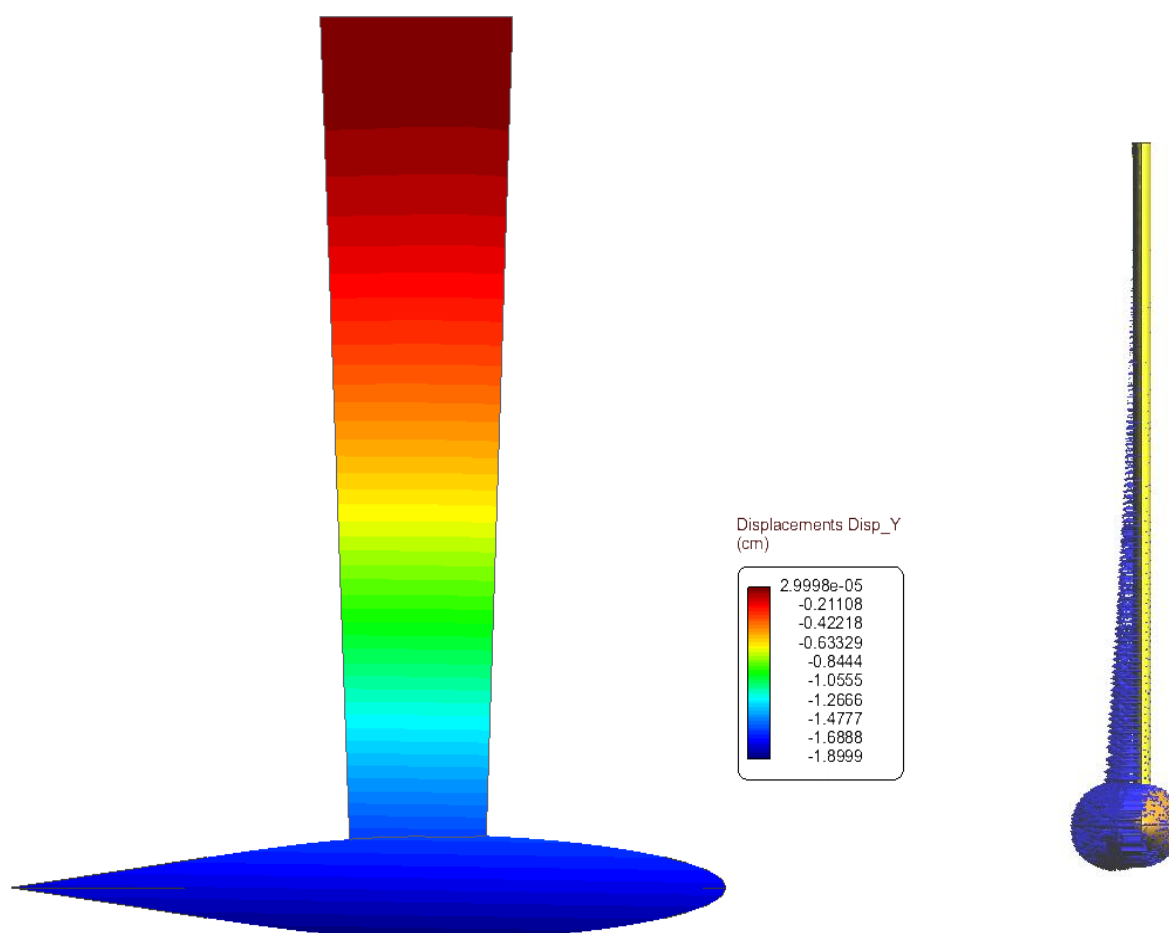


Figura 129: Diagrama de desplaçaments en l'eix y de *Keel I*

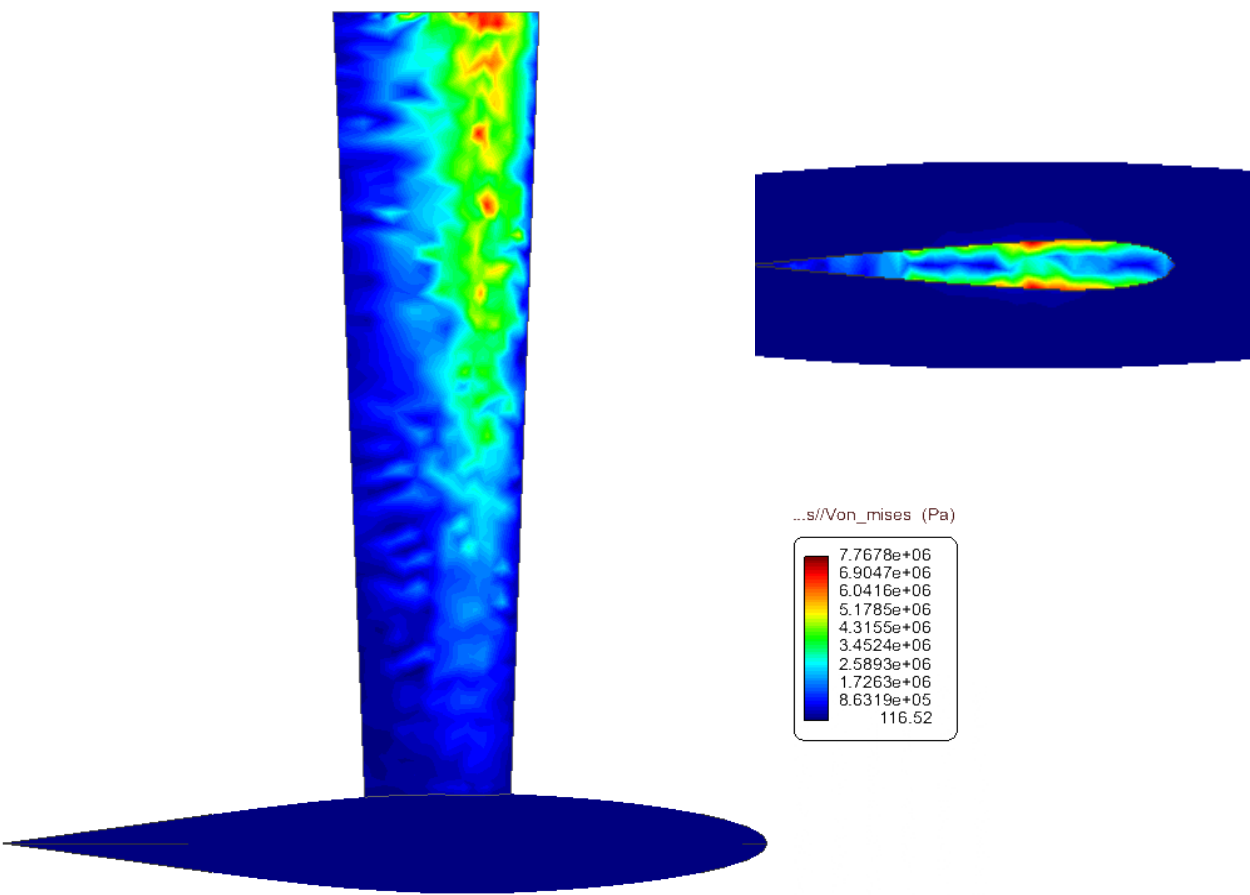


Figura 130: Diagrama d'esforços de *Von Mises* i valors de *Keel I*

	Màxim	Mínim	<i>Keel I</i>
Flexió màxima (en mm)	18	n/a	18,99
Tensió màxima (en MPa)	52,5	n/a	7,76

Taula 77: Valors d'esforç i flexió màximes obtinguts per a *Keel I*

A1.8 Dades de l'estudi estructural de *Keel II*

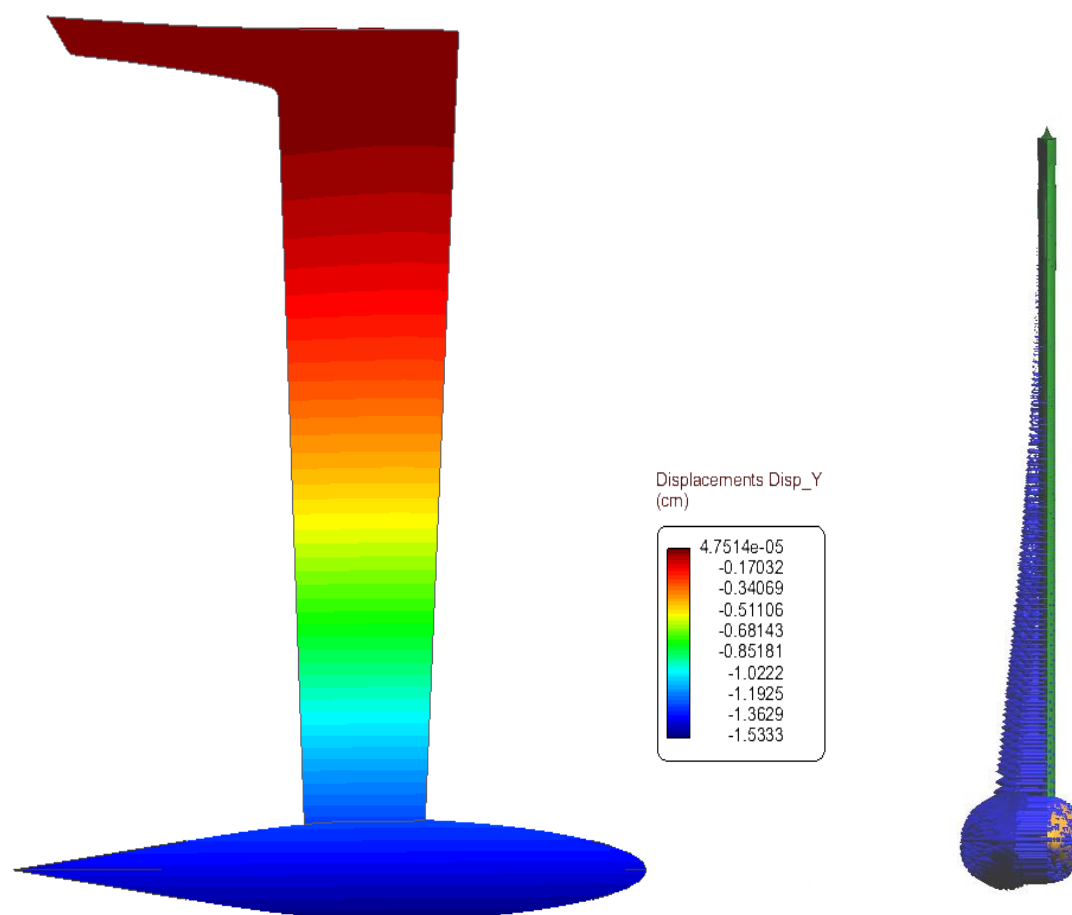


Figura 131: Diagrama de desplaçaments en l'eix y de *Keel II*

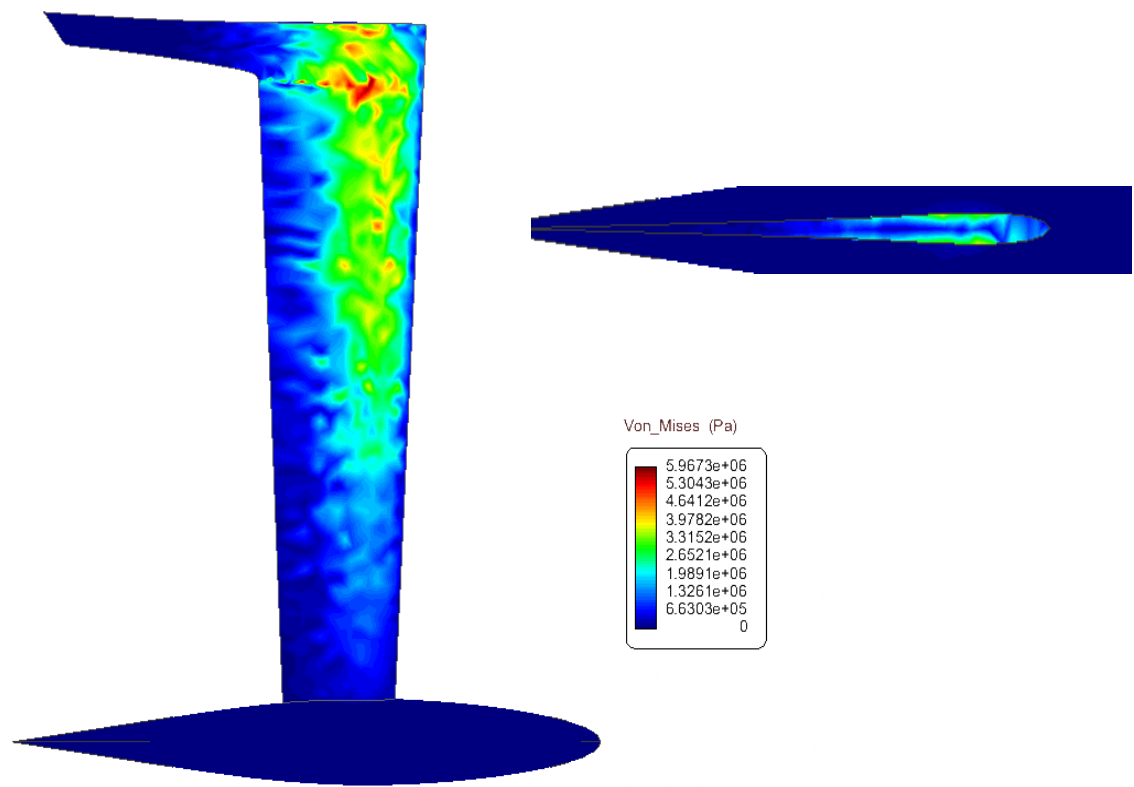


Figura 132:Diagrama d'esforços de *Von Mises* i valors de *Keel II*

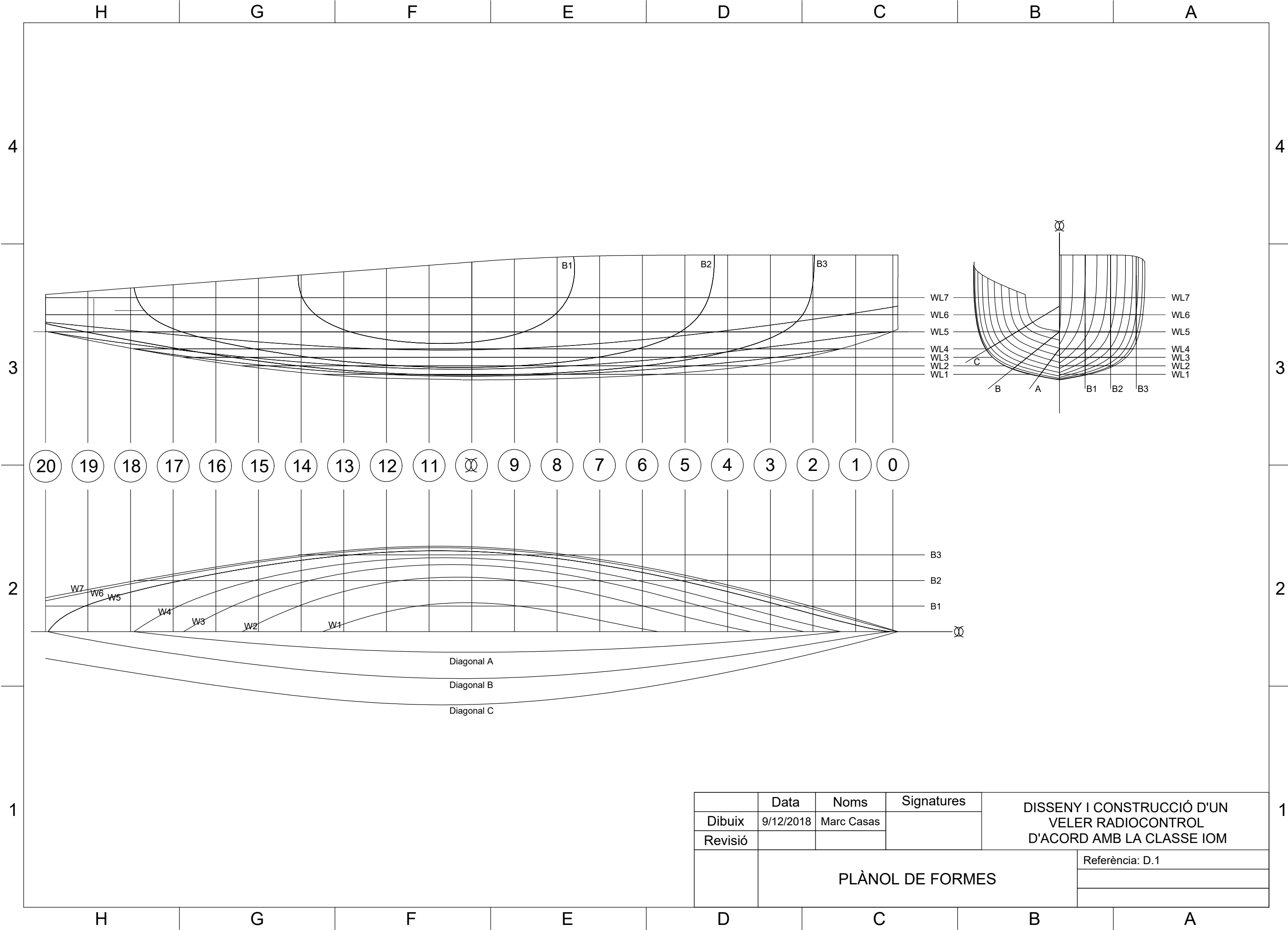
	Màxim	Mínim	<i>Keel I</i>
Flexió màxima (en mm)	18	n/a	15,33
Tensió màxima (en MPa)	52,5	n/a	5,96

Taula 78: Valors d'esforç i flexió màximes obtinguts per a *Keel II*

Annex 2. Plànols

En aquest annex es recullen tots els plànols obtinguts durant la fase de disseny;

- **[D.1]** Plànol de formes
- **[D.2]** Coberta de proa
- **[D.3]** Coberta de popa
- **[D.4]** Coberta de servos
- **[D.5]** Mampares
- **[D.6]** Quilla
- **[D.7]** Sistema de fixació de la quilla
- **[D.8]** Timó
- **[D.9]** Sistema de fixació del timó
- **[D.10]** Vista explotada general
- **[D.11]** Embarcació final



	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM
Dibuix	9/12/2018	Marc Casas		
Revisió				
	PLÀNOL DE FORMES			Referència: D.1

D

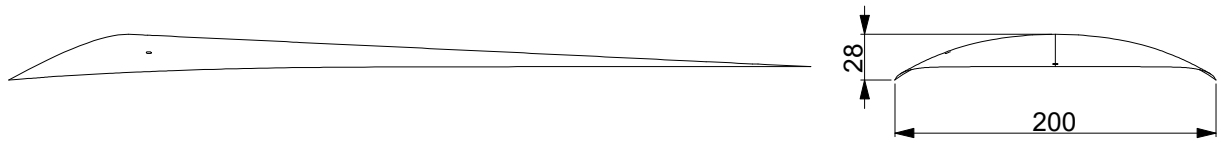
C

B

A

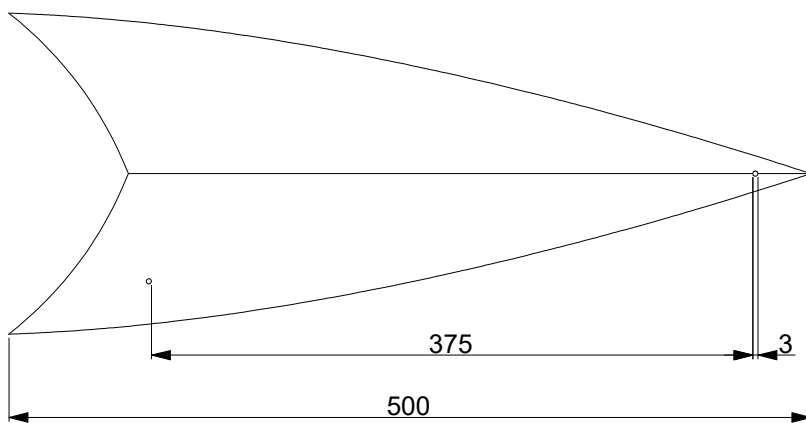
4

4



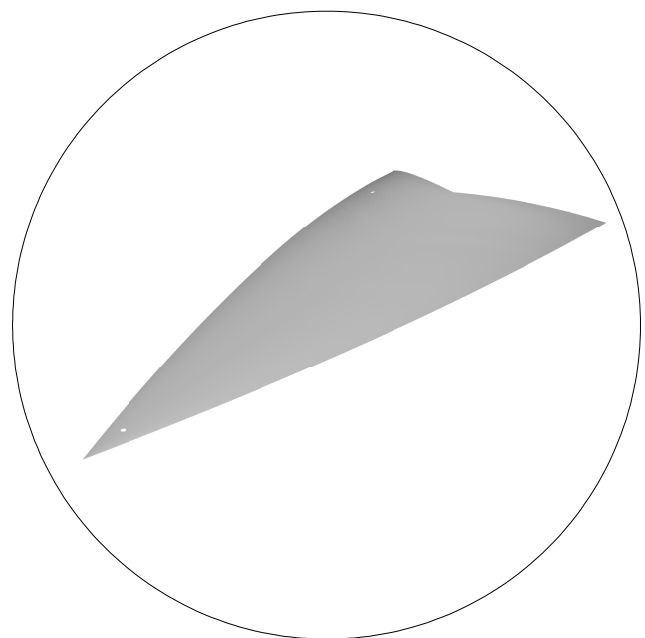
3

3



2

2



1

1

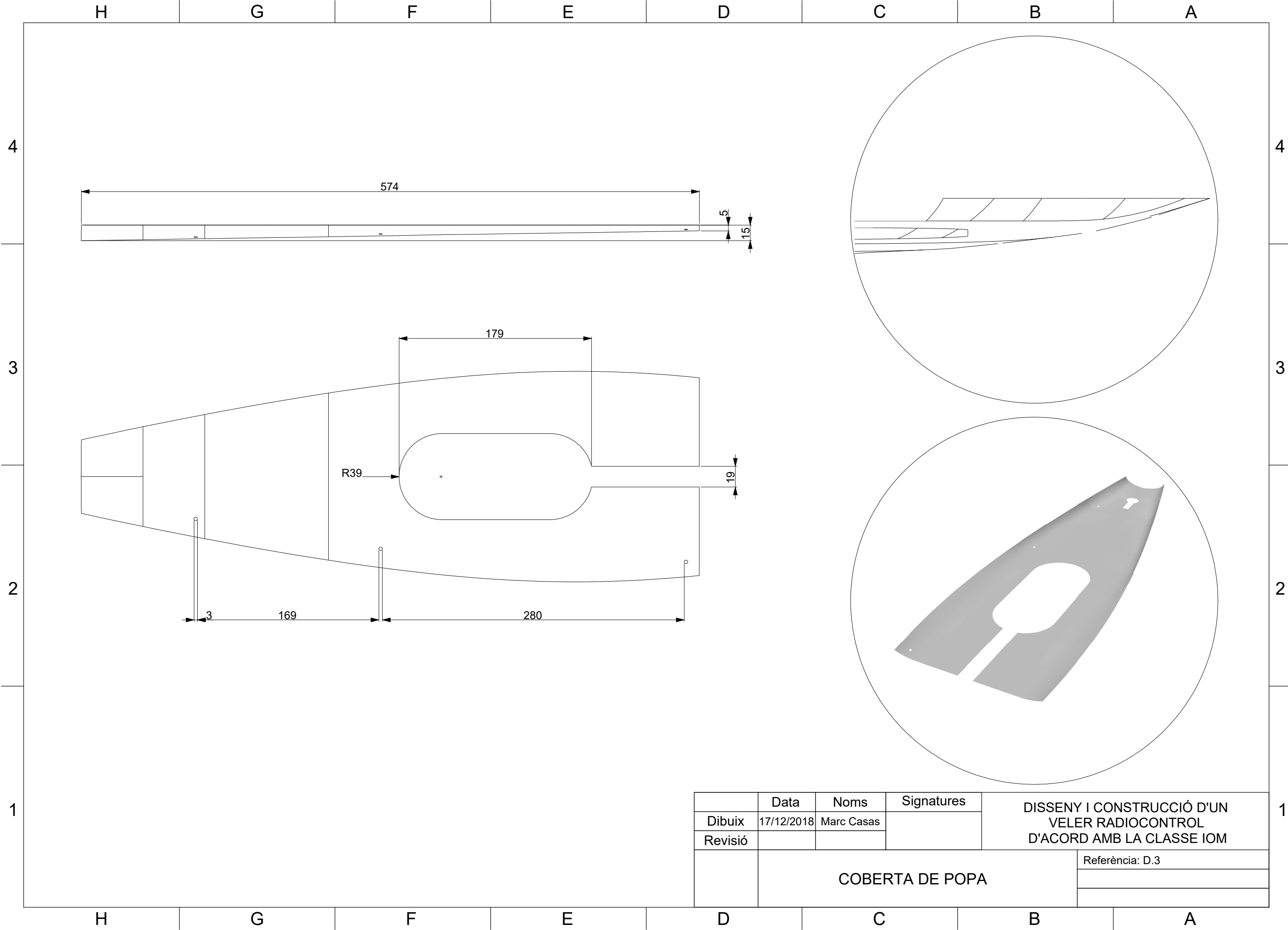
	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas		
Revisió				
	COBERTA DE PROA			Referència: D.2

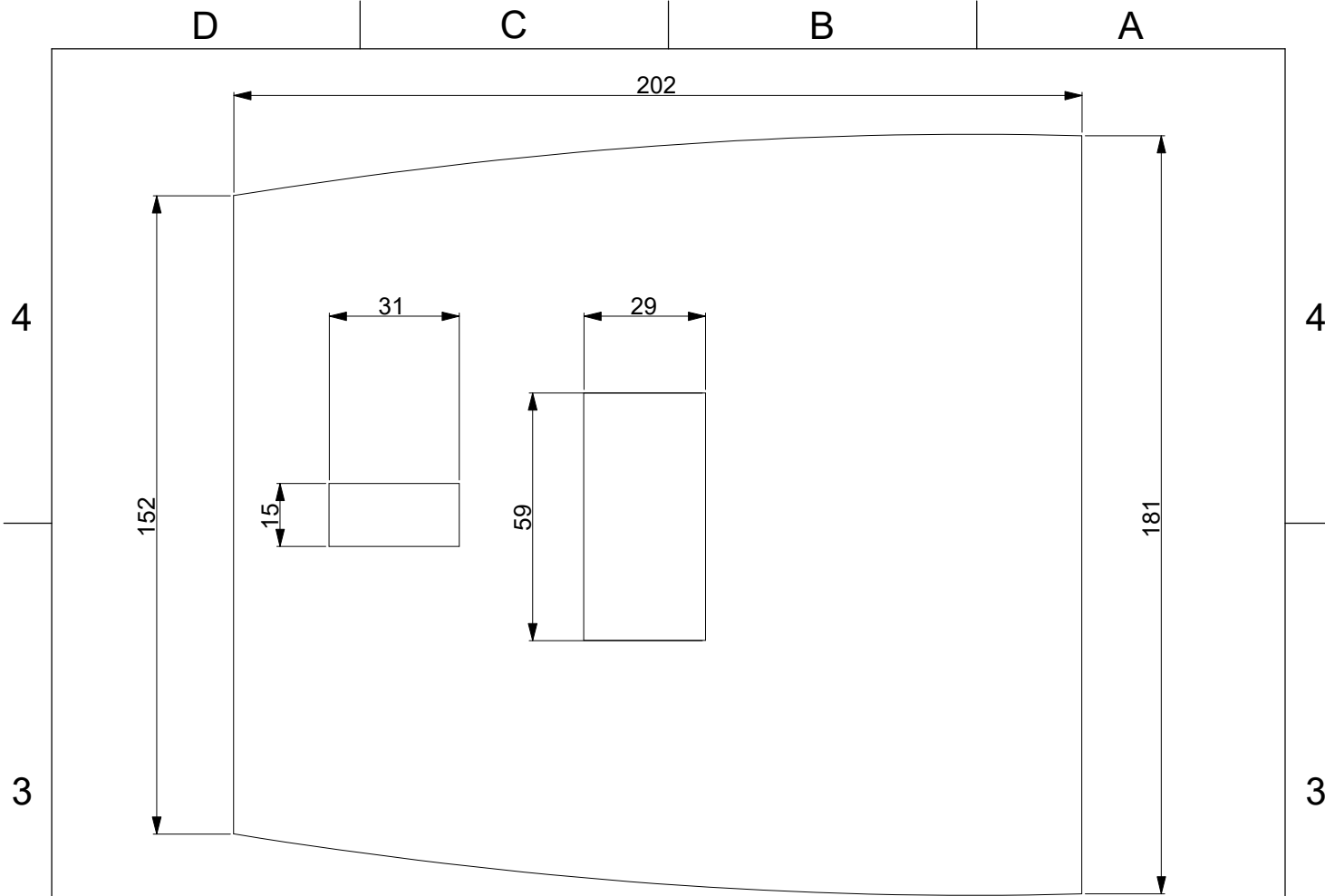
D

C

B

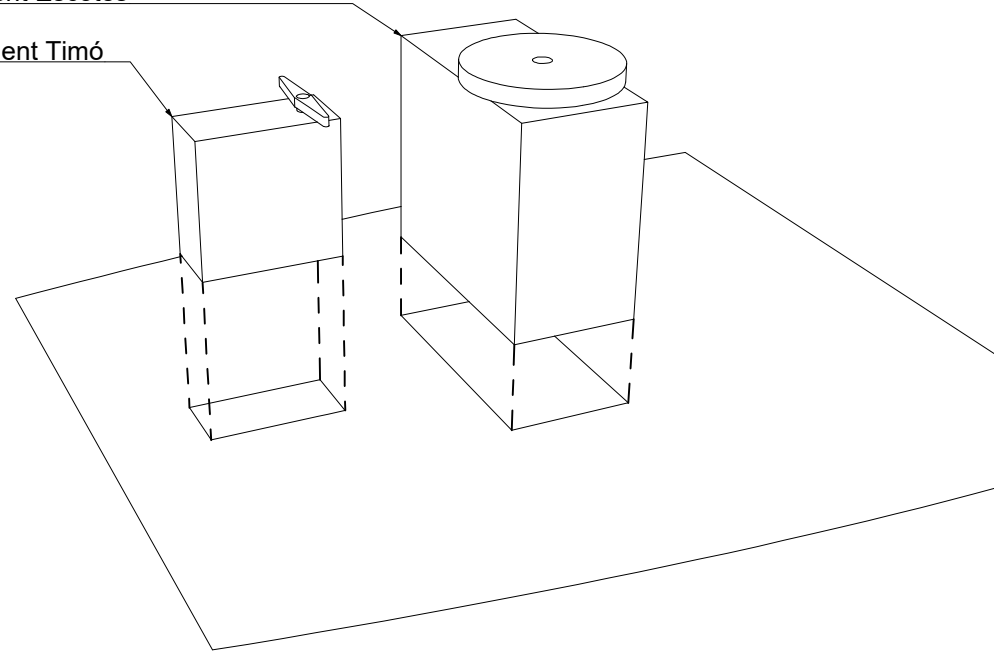
A



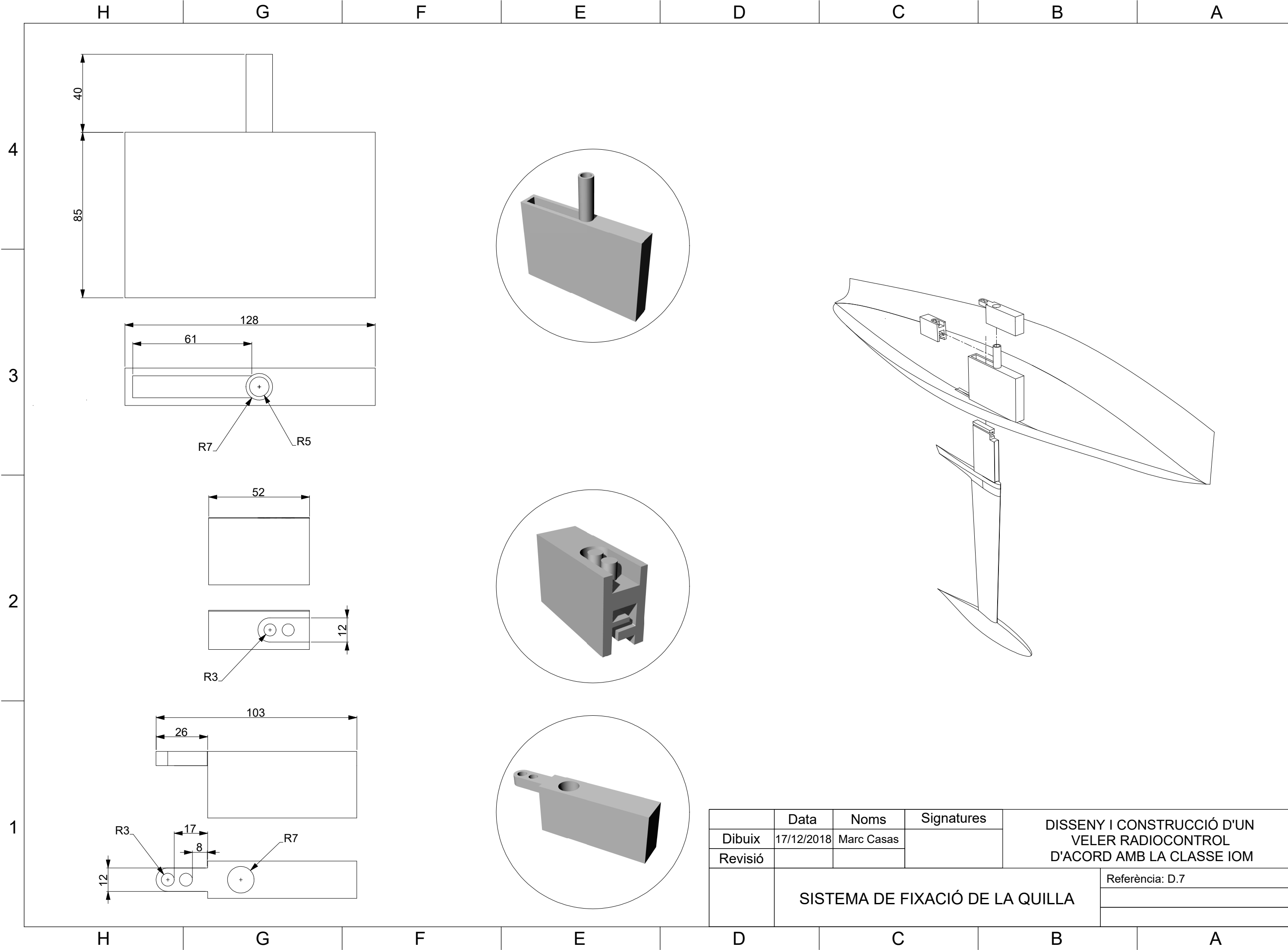


Servomotor Accionament Escotes

Servomotor Accionament Timó



1		Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM	1
	Dibuix	17/12/2018	Marc Casas			
	Revisió					
	COBERTA INTERIOR POPA				Referència: D.4	



	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas		
Revisió				
	SISTEMA DE FIXACIÓ DE LA QUILLA			Referència: D.7

D

C

B

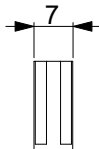
A

4

3

2

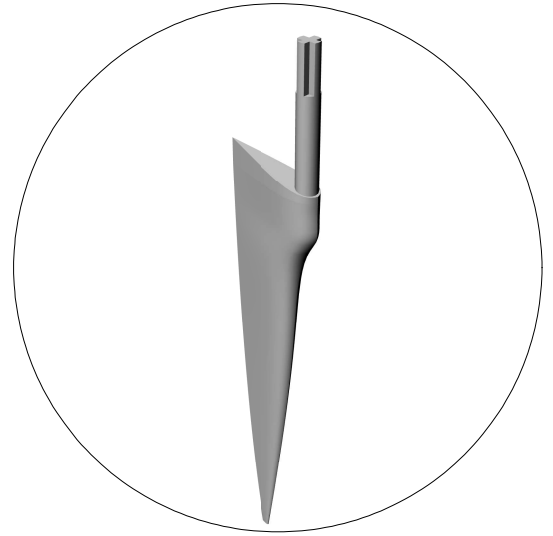
1



162

37

68

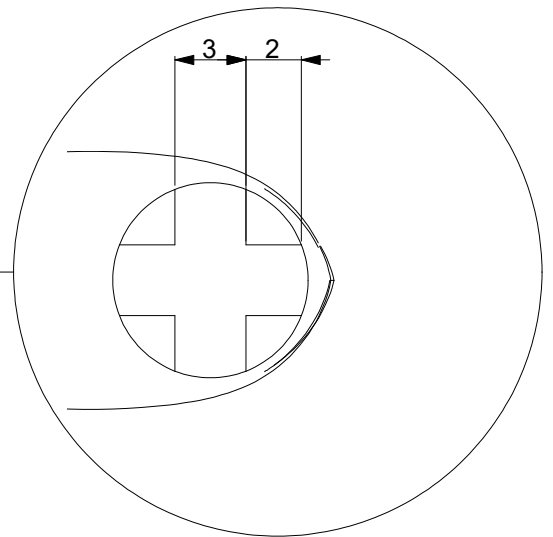


4

3

2

1



3

2

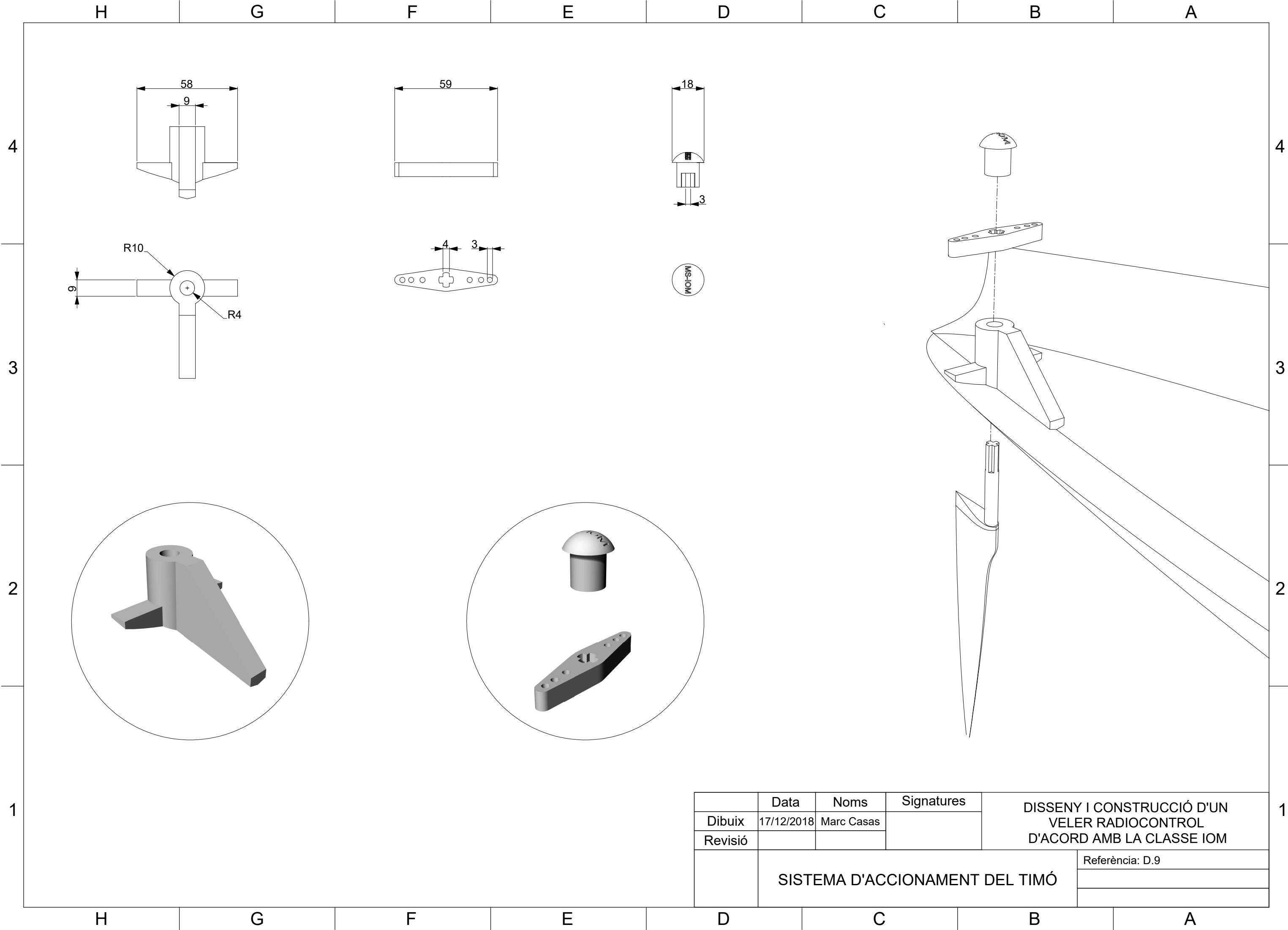
	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas		
Revisió				
	TIMÓ			Referència: D.8

D

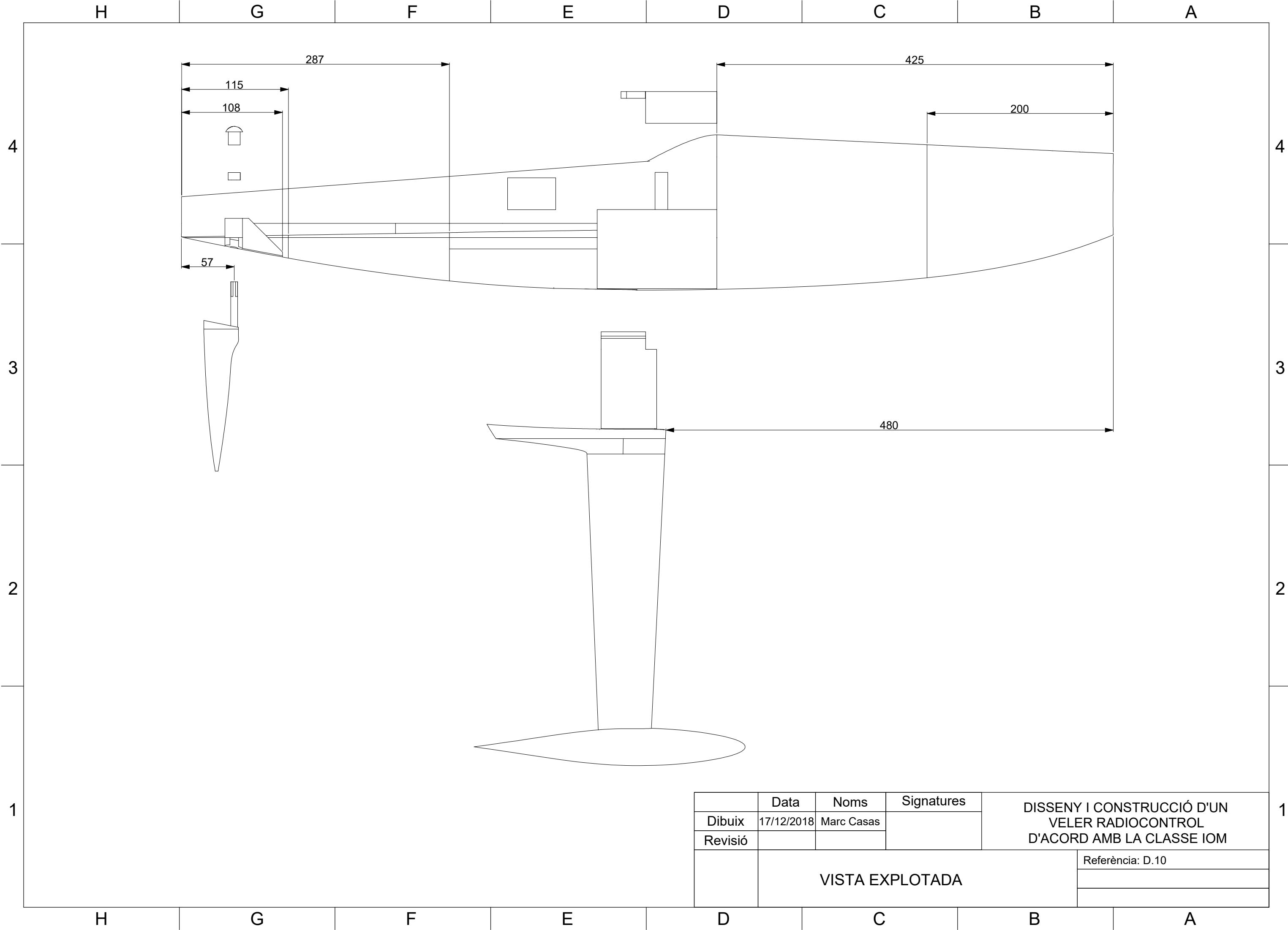
C

B

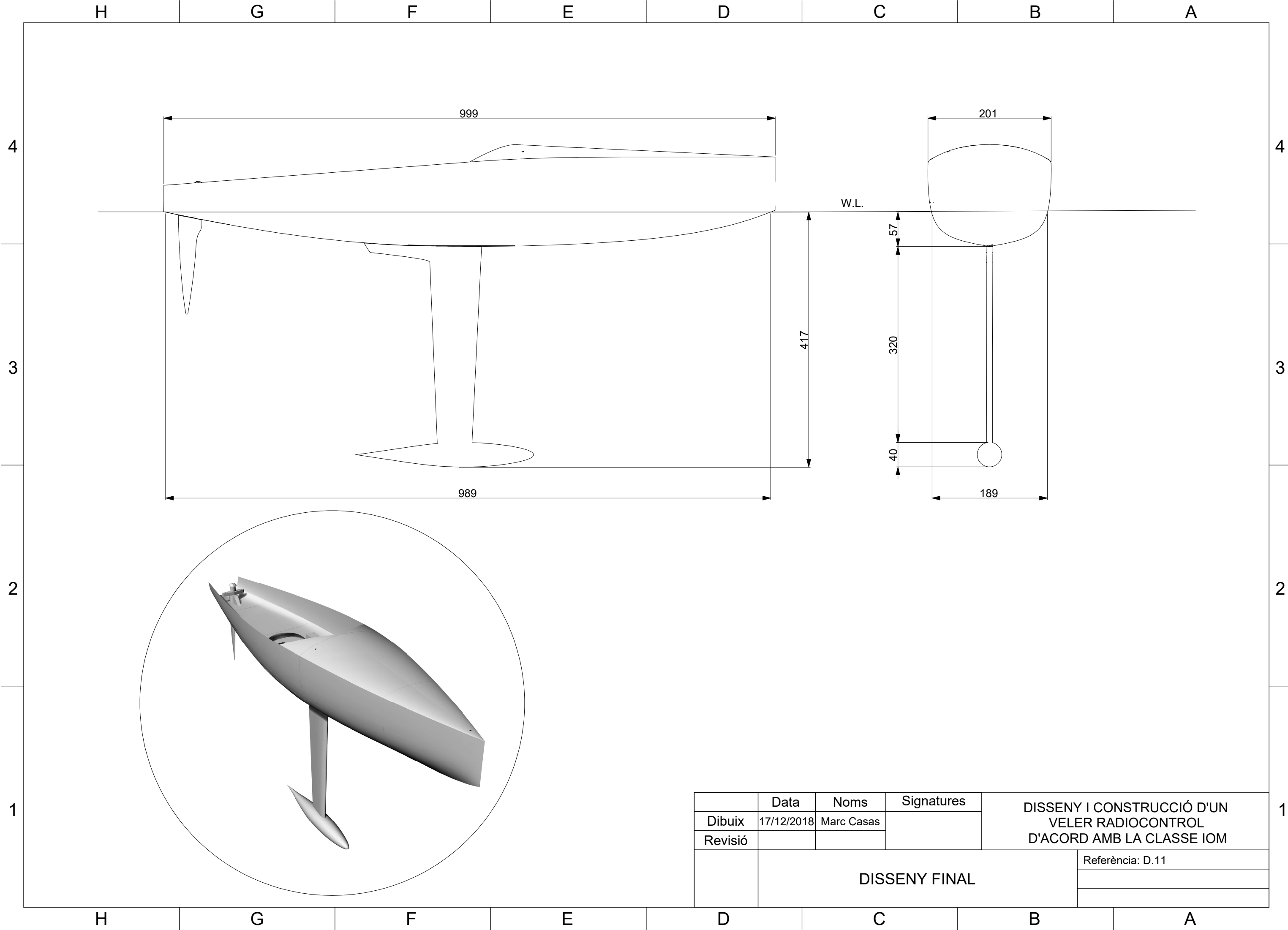
A



	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas		
Revisió				
	SISTEMA D'ACCIONAMENT DEL TIMÓ			Referència: D.9



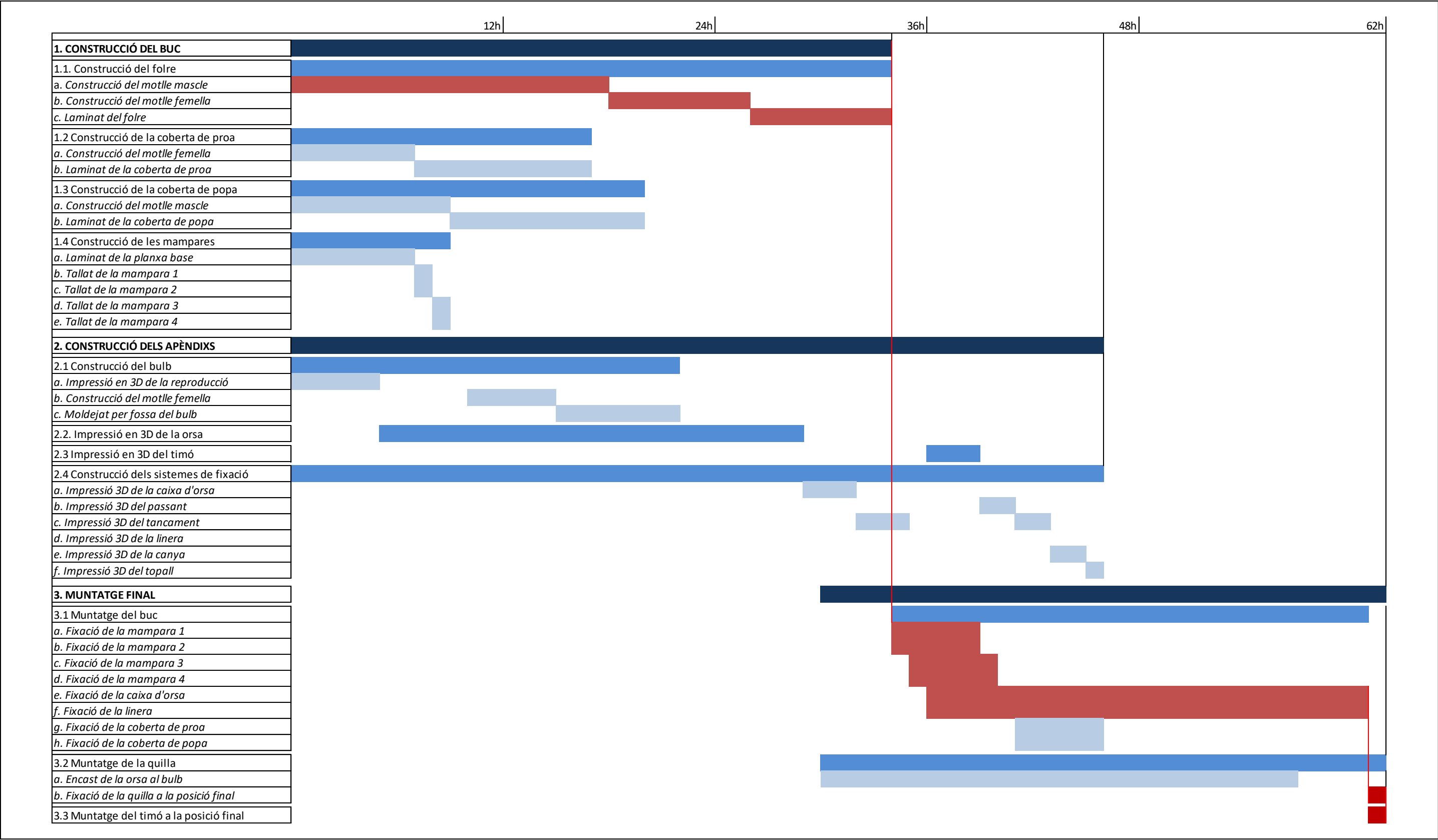
	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM	
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas			
Revisió					
	VISTA EXPLOTADA				Referència: D.10



	Data	Noms	Signatures	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VELER RADIOCONTROL D'ACORD AMB LA CLASSE IOM	
Dibuix	17/12/2018	Marc Casas			
Revisió					
	DISSENY FINAL				Referència: D.11

Annex 3. Documents Organitzatius

En aquest annex es recull el diagrama de *Gantt* resultant de la planificació de la fase de construcció així com els pressupostos dels diferents processos de construcció.



DADES DE FACTURACIÓ

MARC CASAS BÉJAR
79273171Z
CARRER ANNE FRANK, 17
08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS
BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER LA CONSTRUCCIÓ DEL FOLRE

<i>Ref.</i>	<i>Descripció</i>	<i>Qt.</i>	<i>Cost</i>	<i>Total</i>
M001	Taulell de fusta conglomerada lacada 1200 x 300 x 10 mm	1	5,40	5,40
M002	Planxa de DM fina 500 x 1000 x 4 mm	2	5,40	10,80
M003	Planxa d'espuma de poliuretà rígida de 2000 x 1000 x 50 mm	0,75	65,50	49,13
M004	Màstic EPIFANES de fibra de vidre 1,5 kg	1,5	35,20	52,80
M005	Fibra de vidre VOSSCHEMIE MAT 450 g/m2 (M2)	2	14,18	28,36
M006	Resina de polièster EURORESINS + Catalitzador (1 KG+ 20 G)	1,5	12,39	18,59
M007	Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	2,5	8,54	21,35
M008	Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,7	7,20	5,04
M009	Honey Wax cera per a desemmotllar en base carnauba 426 g	0,1	20,66	2,07
M010	Gelcoat EURORESINS + Catalitzador (1 KG + 20 G)	0,2	12,76	2,55
M011	3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	4	1,20	4,80
M012	3M Wetordry full de paper de vidre P120	2	1,58	3,16
M013	3M Wetordry full de paper de vidre P220	2	1,38	2,76
M014	3M Wetordry full de paper de vidre P400	2	1,38	2,76
M015	3M Wetordry full de paper de vidre P600	2	1,38	2,76
HT001	Mà d'obra	18	0,00	0,00

SUBTOTAL	194,15	EUR
IVA 21%	40,77	EUR
TOTAL IVA INCLOS.	234,92	EUR

DADES DE FACTURACIÓ
MARC CASAS BÉJAR
79273171Z
CARRER ANNE FRANK, 17
08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS
BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER LA COBERTA DE PROA

Ref.	Descripció	Qt.	Cost	Total
M001	Taulell de fusta conglomerada lacada 1200 x 300 x 10 mm	0,5	5,40	2,70
M002	Planxa de DM fina 500 x 1000 x 4 mm	1	5,40	5,40
M016	Planxa d'espuma de poliuretà rígid de 1000 x 1000 x 50	1	41,50	41,50
M004	Màstic EPIFANES de fibra de vidre 1,5 kg	0,5	35,20	17,60
M006	Resina de polièster EURORESINS + Catalitzador (1 KG+ 20 G)	0,25	12,39	3,10
M007	Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	0,15	8,54	1,28
M008	Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,3	7,20	2,16
M009	Honey Wax cera per a desemmotllar en base carnauba 426 g	0,1	20,66	2,07
M010	Gelcoat EURORESINS + Catalitzador (1 KG + 20 G)	0,4	12,76	5,10
M011	3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	2	1,20	2,40
M012	3M Wetordry full de paper de vidre P120	1	1,58	1,58
M013	3M Wetordry full de paper de vidre P220	1	1,38	1,38
M014	3M Wetordry full de paper de vidre P400	1	1,38	1,38
M015	3M Wetordry full de paper de vidre P600	1	1,38	1,38
HT001	Mà d'obra	8	0,00	0,00

SUBTOTAL	89,03	EUR
IVA 21%	18,70	EUR
TOTAL IVA INCLOS.	107,72	EUR

DADES DE FACTURACIÓ

MARC CASAS BÉJAR

79273171Z

CARRER ANNE FRANK, 17

08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS

BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER LA COBERTA DE POPA

<i>Ref.</i>	<i>Descripció</i>	<i>Qt.</i>	<i>Cost</i>	<i>Total</i>
M001	Taulell de fusta conglomerada lacada 1200 x 300 x 10 mm	0,5	5,40	2,70
M002	Planxa de DM fina 500 x 1000 x 4 mm	1	5,40	5,40
M016	Planxa d'espuma de poliuretà rígida de 1000 x 1000 x 50	1	41,50	41,50
M004	Màstic EPIFANES de fibra de vidre 1,5 kg	0,5	35,20	17,60
M006	Resina de polièster EURORESINS + Catalitzador (1 KG+ 20 G)	0,6	12,39	7,43
M007	Fibra de vidre SILIONNE 50 g/m2 (M2)	0,2	8,54	1,71
M008	Fibra de vidre SILIONNE 166 g/m2 (M2)	0,5	7,20	3,60
M009	Honey Wax cera per a desemmotllar base carnauba 426 g	0,1	20,66	2,07
M010	Gelcoat EURORESINS + Catalitzador (1 KG + 20 G)	0,6	12,76	7,66
M011	3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	2	1,20	2,40
M012	3M Wetordry full de paper de vidre P120	1	1,58	1,58
M013	3M Wetordry full de paper de vidre P220	1	1,38	1,38
M014	3M Wetordry full de paper de vidre P400	1	1,38	1,38
M015	3M Wetordry full de paper de vidre P600	1	1,38	1,38
HT001	Mà d'obra	9	0,00	0,00

SUBTOTAL	97,78	EUR
IVA 21%	20,53	EUR
TOTAL IVA INCLOS.	118,32	EUR

DADES DE FACTURACIÓ

MARC CASAS BÉJAR
 79273171Z
 CARRER ANNE FRANK, 17
 08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS
 BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER A LES MAMPARES

<i>Ref.</i>	<i>Descripció</i>	<i>Qt.</i>	<i>Cost</i>	<i>Total</i>
M004	Màstic EPIFANES de fibra de vidre 1,5 kg	0,2	35,20	7,04
M006	Resina de polièster EURORESINS + Catalitzador (1 KG+ 20 G)	0,5	12,39	6,20
M005	Fibra de vidre VOSSCHEMIE MAT 450 g/m2 (M2)	1	8,54	8,54
M011	3M 618 full de paper de vidre fer a fregat en sec P80	1	1,20	1,20
M012	3M Wetordry full de paper de vidre P120	1	1,58	1,58
M013	3M Wetordry full de paper de vidre P220	1	1,38	1,38
M014	3M Wetordry full de paper de vidre P400	1	1,38	1,38
M015	3M Wetordry full de paper de vidre P600	1	1,38	1,38
HT001	Mà d'obra	9	0,00	0,00

SUBTOTAL	28,70	EUR
IVA 21%	6,03	EUR
TOTAL IVA INCLOS.	34,72	EUR

DADES DE FACTURACIÓ

MARC CASAS BÉJAR

79273171Z

CARRER ANNE FRANK, 17

08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS

BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER LA CONSTRUCCIÓ DEL BULB

<i>Ref.</i>	<i>Descripció</i>	<i>Qt.</i>	<i>Cost</i>	<i>Total</i>
M017	Guix BEISSIER 1 kg	2	5,25	10,50
M018	Plom (KG)	2,5	7,32	18,30
M019	Filament per a impressió 3D MCPP CARBON-P (G)	500	0,06	30,00
HT001	Mà d'obra	1	0,00	0,00
HT002	Hores d'ocupació impressora 3D	4	0,00	0,00

SUBTOTAL 58,80 EUR**IVA 21%** 12,35 EUR**TOTAL IVA INCLOS.** 71,15 EUR

DADES DE FACTURACIÓ
MARC CASAS BÉJAR 79273171Z CARRER ANNE FRANK, 17 08930 - SANT ADRIÀ DE BESÓS BARCELONA - ESPANYA

PRESSUPOST DE VENTA

MATERIALS PER A LA IMPRESSIÓ 3D

Ref.	Descripció	Qt.	Cost	Total
M019	Filament per a impressió 3D MCPP CARBON-P (G)	500	0,06	30,00
HT001	Mà d'obra	8	0,00	0,00
HT002	Hores d'ocupació impressora 3D	40	0,00	0,00

SUBTOTAL	30,00	EUR
IVA 21%	6,30	EUR
TOTAL IVA INCLOS.	36,30	EUR